

Ⅲ-19 現場打ち気泡コンクリートを使用する 壁式構造に関する実験的研究

亀 田 登 興 三 郎

Experimental Study on Bearing Wall Structures constructed of Reinforced Cellular Concrete

Toyosaburo KAMEDA

Résumé

This paper presents experimental research on the box frame construction which is constructed of cellular concrete cast in site.

The experiments were made on full scale specimens for each structural members. Compressive strength of cellular concrete used were ranged from 70 to 90 kg/cm² and the plain round small size bars and welded wire fabrics were utilized for its reinforcement.

The experiments included three series. In the first series, The bending tests of walled beams which connected with walled column at the center of the specimens were carried out and the bending capacity and the bending rigidity were discussed. Nomograms for the proportioning of the beam sections were made based on these experiments.

In the second series, the shearing tests of simply supported walled beams were carried out, and shearing capacity of the beams and the effect of the amount of the wire fabrics were discussed.

In the third series, tests for the anchorage properties of walled columns under both sustained axial load and alternately repeated horizontal shear forces were carried out and reinforcing method for better anchorage capacity were discussed.

はじめに

気泡コンクリートとは特定の発泡剤を混入したセメントスラリーを型枠に注入し発泡、膨張、凝固硬化させたものである。その材料的性質は普通コンクリートに比較して、比重は小さく、断熱性は高いが強度的にはかなり劣るものであった。しかし、最近、材料面での研究開発が進み調査技術の進歩によって現場打ち込み方式による気泡コンクリートの品質向上に伴う材料的強度の上昇も可能となり、今後、更にこの方面での開発が行なわれるものと思われる。この現場打ち気泡コンクリートを構造材料として使用する場合には、通常補強として普通丸鋼およびワイヤーメッシュを用い、一体式の壁式構造としている。この種の実際設計に当たり従来の設計要項は低い強度の気泡コンクリートを

対象としてつくられているが、強度の上昇した気泡コンクリートを利用することによって構造部材の性能は著しく向上するはずであり、また、構造規模の拡張も期待できるものと思われる。

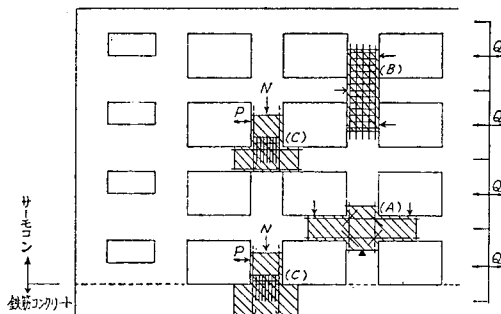
このことから、本研究では品質向上した現場打ち気泡コンクリートを構造材料として用いた場合の実際設計に供する設計資料の基礎データを得る目的で、ほぼ実際建物を想定した構造部材の各種破壊試験を行ない、耐力および剛性等を検討した。

§ 1. 実験内容

1.1 実験の計画

本研究では現場打ち気泡コンクリートとして品質改良されたプレーンサーモコンおよび人工軽量細骨材の入った骨材入りサーモコンの2種類を使用し、1図に

示す4階建壁式構造の実際建物を想定して、図中ハッチした部分を取り出した試験体をつくり下記の諸実験を行なった。



1 図 実際建物と試験体の関係

A. 壁ばりの曲げ試験

サーモコン造における壁ばりの曲げ補強筋には普通丸鋼と曲げ加工したメッシュを併用しているために壁ばりと壁柱との接合部では特殊工法がなされており、材料的強度の向上したサーモコンを使用して同工法を行なった場合はり端部における曲げ耐力および剛性について検討する。

B. 壁柱のせん断試験

サーモコン造におけるせん断補強筋には平メッシュが使用されるが、サーモコンの材料的強度の向上にともない、せん断強度も当然上昇することが考えられる。この実験では構造部材としてのせん断耐力および剛性について検討する。

C. 壁柱脚部の強度試験

サーモコン造における基礎または壁ばりからの立ちあがり壁柱の脚部では壁柱の補強メッシュが途切れるので、特殊メッシュによって、この部分の接合が行なわれる。

この実験はこの壁柱脚部接合を対象として、軸力および水平交番曲げ、せん断力が加わるときの脚部耐力および回転剛性について検討する。

1.2 使用材料

a) サーモコン

各種試験を通じて使用したサーモコンは、材料的品質の向上したプレーンサーモコンおよび人工軽量細骨材（粒径 2.5～10mm）を混入した骨材入りサーモコンの2種類で、各試験時における強度は材令によって多少の相異はあるが、この実験範囲での強度はおよそつぎのとおりである。

プレーンサーモコン（記号P）

圧縮強度 $F_c = 64 \sim 99 \text{ kg/cm}^2$ （材令28～81日）

骨材入りサーモコン（記号A）

圧縮強度 $F_c = 62 \sim 104 \text{ kg/cm}^2$ （材令28～81日）

また、圧縮強度と歪度との関係については、従来 $(1 - \sigma/F_c) = (1 - \epsilon/\epsilon_m)^k$ の形式で示されている。そこで、本実験では各種試験時に得た圧縮応力度—歪度曲線より前述の関係で示すと、この実験の範囲では次式が得られた。

プレーンサーモコンの場合

$$\left(1 - \frac{\sigma}{F_c}\right) = \left(1 - \frac{\epsilon}{\epsilon_m}\right)^{1.5} \dots\dots\dots (1.1)$$

但し $F_c = 64 \sim 99 \text{ kg/cm}^2$, $\epsilon_m = 0.21\% \sim 0.28\%$

骨材入りサーモコンの場合

$$\left(1 - \frac{\sigma}{F_c}\right) = \left(1 - \frac{\epsilon}{\epsilon_m}\right)^{1.6} \dots\dots\dots (1.2)$$

但し $F_c = 62 \sim 104 \text{ kg/cm}^2$, $\epsilon_m = 0.18\% \sim 0.24\%$

ここで

σ : 圧縮応力度 (kg/cm²)

F_c : 試験時最大圧縮応力度すなわち圧縮強度 (kg/cm²)

ϵ : 歪度

ϵ_m : F_c 時の歪度

b) 補強筋

各種試験を通じて使用した補強筋は、主筋として9mm および 13mm の普通丸鋼を用い、ワイヤーメッシュとしては 3.2mm, 4.0mm および 4.5 mm のタテヨコ 10cm 間隔とした平メッシュおよび曲げ加工をほどこしたバスケットメッシュ（コの字形に曲げ加工）、アンカーメッシュを用いた。

普通丸鋼およびワイヤーメッシュの強度は各シリーズ試験体ごとに多少の相異があるが、およそつぎのとおりである。

普通丸鋼

13mm筋 $\sigma_y = 3000 \sim 3300 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_B = 4600 \sim 4800 \text{ kg/cm}^2$

9mm筋 $\sigma_y = 3350 \sim 3800 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_B = 4600 \sim 5400 \text{ kg/cm}^2$

ワイヤーメッシュ

3.2mm, 4.0mm, 4.5mm とも

比例限度 $\sigma_p \approx 4000 \text{ kg/cm}^2$

引張強さ $\sigma_B = 6300 \text{ kg/cm}^2$

§ 2. 実験

2.1 壁ばりの曲げ試験

a) 実験目的

サーモコン造における壁ばりの曲げ補強筋としては普通丸鋼および曲げ補強メッシュ（以下バスケットメッシュと呼ぶ）を併用するが、壁柱との接合部では丸

鋼は壁柱のなかを通すことができるが、バスケットメッシュは壁柱の曲げ補強メッシュがあるために壁柱のなかを通すことができないので、壁ばりのバスケットメッシュは壁柱内にメッシュ2コマ分を定着させている。

本実験は、このはり端部を対象として、壁柱部をもつ壁ばりの曲げ試験を行ない、壁ばり端部の曲げ耐力

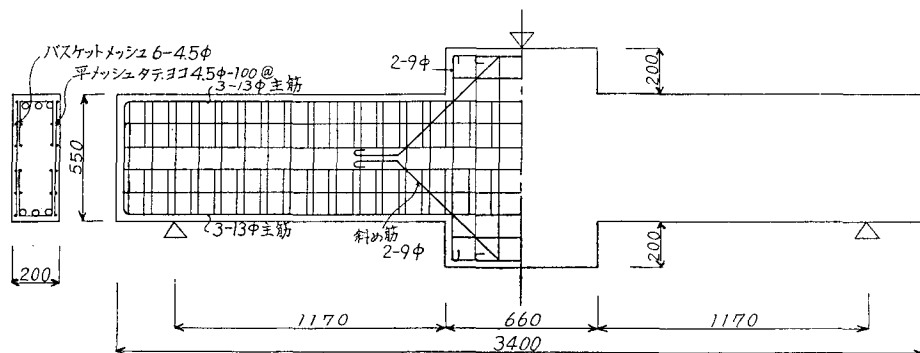
および剛性等について検討を行なった。

b) 実験内容

(i) 試験体形状・寸法および種別記号

試験体の形状は2図に示すように壁ばり断面は、はり幅20cm、はり丈55cmで柱形部の断面は柱幅20cm、柱丈(壁長)66cmとした、ほぼ実大の試験体である。

補強筋は曲げ補強筋として9mm、13mmの普通丸鋼お



2図 試験体形状寸法

よび4.5mm、4.0mmのバスケットメッシュを用い、せん断筋には同径の平メッシュを用いた。

また、この試験体は実際建物の配筋を対象とするも

ので、はり・柱接合部の隅角部に斜め筋として上下4隅に2-9mm筋を配筋した。試験体種別による補強筋量を表1に示した。

1表 試験体種別

	試験体記号	曲 げ 補 強 筋				せん断補強筋 (壁平メッシュ) (タテ、ヨコ共)	はり端部 補強筋 (斜筋)
		主 筋 (上下共)	鉄 筋 比 $p_t(\%)$	バスケット メッシュ (上下共)	鉄 筋 比 $p_t'(\%)$		
プレーン サーモコン	TWG—1 P	3-13 ϕ	0.391	6-4.5 ϕ	0.094	2-4.5 ϕ -100@	(上下共) 2-9 ϕ
	TWG—2 P	2-13 ϕ	0.260				
	TWG—3 P	2- 9 ϕ	0.125				
骨材入り サーモコン	TWG—1 A	3-13 ϕ	0.391	6-4.5 ϕ	0.094	2-4.5 ϕ -100@	
	TWG—2 A	2-13 ϕ	0.260				
	TWG—3 A	2- 9 ϕ	0.125				

試験体個数 各2個

(ii) 使用材料の性質

・サーモコン

サーモコンの試験時における圧縮強度およびヤング係数等を2表に示す。

・補強筋

普通丸鋼およびメッシュの引張試験結果を3表に示す。

(iii) 試験装置および測定装置

試験装置は3図に示すように鉄筋コンクリートベース中央に4-25mmφを支柱として埋込み、支柱上部には

2表

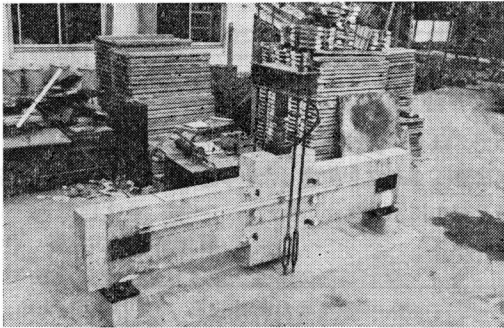
	材令 (日)	圧縮強度 F_c (kg/cm ²)	ヤング係数 cE ($\times 10^4$ kg/cm ²)		
			$F_c/3$	$F_c/2$	$2F_c/3$
プレーン サーモコン	39	63.5	4.71	4.36	4.20
		70.0	4.86	4.55	4.32
		64.1	4.28	4.16	3.96
骨材入り サーモコン	63	88.9	5.60	5.30	5.07
		88.6	6.04	5.60	5.49
		85.1	6.93	6.46	6.04

3 表

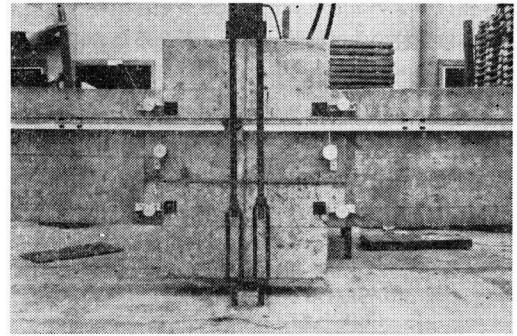
	降 伏 点 $\sigma_y(\text{t/cm}^2)$	引張強さ $\sigma_m(\text{t/cm}^2)$	伸 び $\varepsilon(\%)$
13 ϕ	3.00	4.61	33.2
9 ϕ	3.86	5.56	29.5
4.5 ϕ	—	6.32	6.2
4.0 ϕ	—	6.09	7.5

反力台(H形鋼)を固定して 30 ton オイルジャッキを取り付けたもので、試験体の支点はコンクリートブロックの上に鉄板を置き両支点ともローラ支持とした。

加力は試験体中央の柱形上部に加圧板を置き 20 ton ロードセルを介して、一方向のくり返し荷重を加えた。なお、試験体セットのさいにサーモコン打込面が引張



3 図



4 図

側となるようにセットしてある。

測定は 3 図および 4 図に示すように、はりの固定端（柱形接合面）と荷重端（支点）との相対たわみおよび、はりの固定端部における はりの回転変形の測定にそれぞれ 1/100mm ダイアルゲージを用いた。

また、各種試験体のうち 1 個については、はりの主筋の応力を調べるために、柱形接合面より支点方向へ 5 cm はなれた位置で、主筋の表面にワイヤーストレンゲージを貼付けて、特定荷重時における歪度の測定も行なった。

c) 実験結果

(i) 各試験体の耐力

各試験体の破壊荷重および破壊時に対応する、はり固定端曲げモーメント、せん断応力度を一括して 4 表に示す。

4 表

サコ種 モン別	試験体記号	はり断面の補強		破 壊 荷 重 P (t)	破壊時におけるは り固定端モーメン ト M (t・cm)	破壊時のせん断 応力度 τ (kg/cm ²)
		主 筋	メ ッ シ ュ			
プ レ ー ン	TWG-1P	上下共 3-13 ϕ (0.391)*	曲げ補強 6-4.5 ϕ せん断補強 タテ, ヨコ 4.5 ϕ -10cm@	17.9	1050 **	10.1 ***
				18.1	1060	10.2
	TWG-2P	" 2-13 ϕ (0.260)	同 上	15.5	907	8.7
				16.1	943	9.1
	TWG-3P	" 2- 9 ϕ (0.125)	" 6-4.0 ϕ " 4.0 ϕ -10cm@	11.1	650	6.3
				10.4	609	5.9
骨 材 入 り	TWG-1A	" 3-13 ϕ (0.391)	" 6-4.5 ϕ " 4.5 ϕ -10cm@	19.6	1150	11.0
				18.6	1090	10.5
	TWG-2A	" 2-13 ϕ (0.260)	同 上	16.2	948	9.1
				16.3	953	9.2
	TWG-3A	" 2- 9 ϕ (0.125)	" 6-4.0 ϕ " 4.0 ϕ -10cm@	11.5	673	6.5
				11.7	685	6.6

注 () * は鉄筋比

** 固定端曲げモーメントは $M=P/2 \times 117\text{cm}$

*** $\tau=P/(2 \cdot B \cdot j) \cdots \cdots (j=0.85d, d=51\text{cm})$

(ii) 破壊の状況

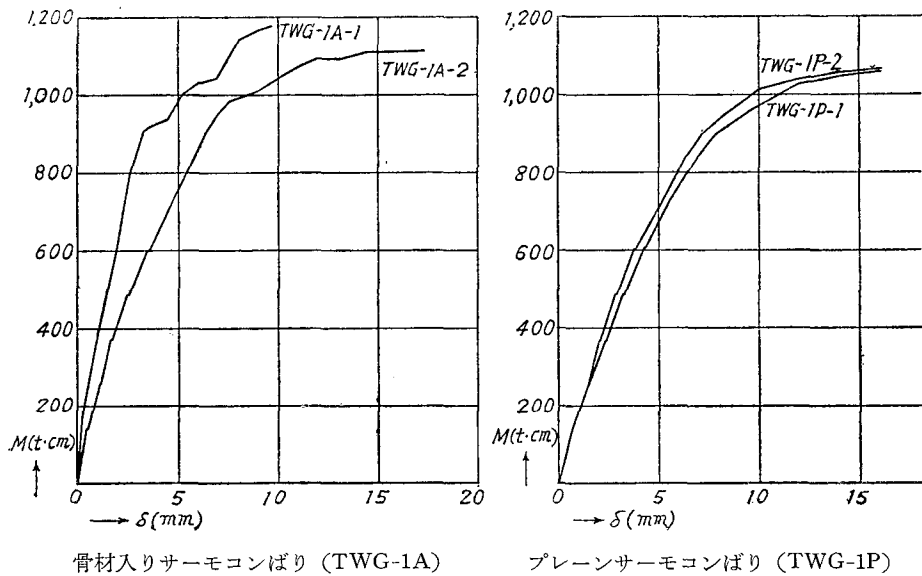
各試験体の破壊はすべてはり端部で、引張側主筋の降伏後に生じた。主筋の降伏後も耐力は徐々に上昇し、破壊までには数多くの曲げキレツの発生がみられ、普通鉄筋コンクリートばりの場合とほぼ同様な経過をたどる。破壊時にはせん断キレツの発生したものもあるが、はりの端部附近の曲げキレツ幅が大きくなり、圧縮側サーモコンの圧潰をまねき耐力を失った。また、柱形部に定着したメッシュ端位置でキレツを生じたものもある。

なお、破壊の性状についてサーモコン種別による相違はほとんど見られず、全般的にみて骨材入りサーモコンばりの耐力がプレーンサーモコンばりよりもやや大きい結果となっている。

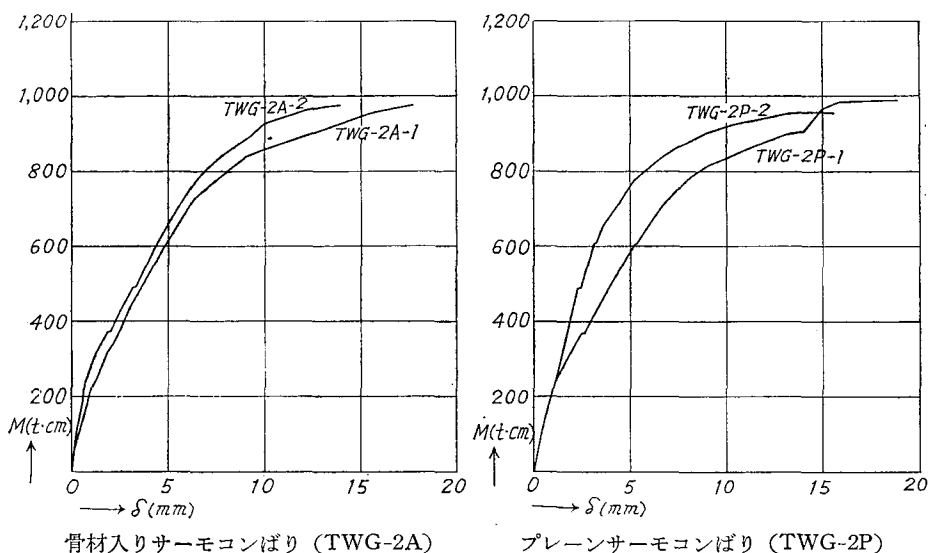
(iii) 変形

。はりのたわみ

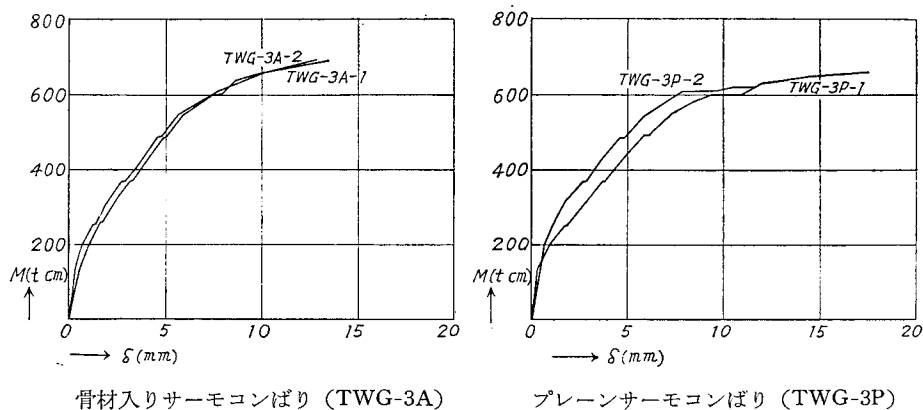
はりの柱形接合面と支点との相対たわみの測定より、柱形接合面を固定端とした片持ばりと考えた場合の荷重点（支点）のたわみ δ とはり固定端曲げモーメントとの関係で各試験体の実験結果を5図に示す。



5図(a) はり端モーメントーたわみ曲線



5図(b) はり端モーメントーたわみ曲線



5 図(c) はり端モーメントーたわみ曲線

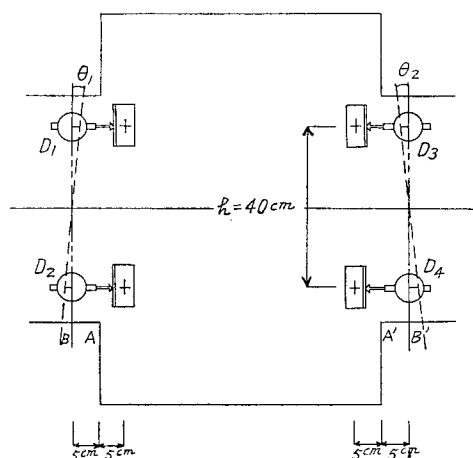
。はり端部の回転角

6 図に示すように、はりの固定端に取り付けたダイヤルゲージのよみを D_1, D_2, \dots, D_4 とすると $\theta_1 = (D_1 + D_2)/h$, $\theta_2 = (D_3 + D_4)/h$ はそれぞれ A, A' 断面に対する B, B' 断面の相対的な回転角を示す。
(柱内の変形を無視する)

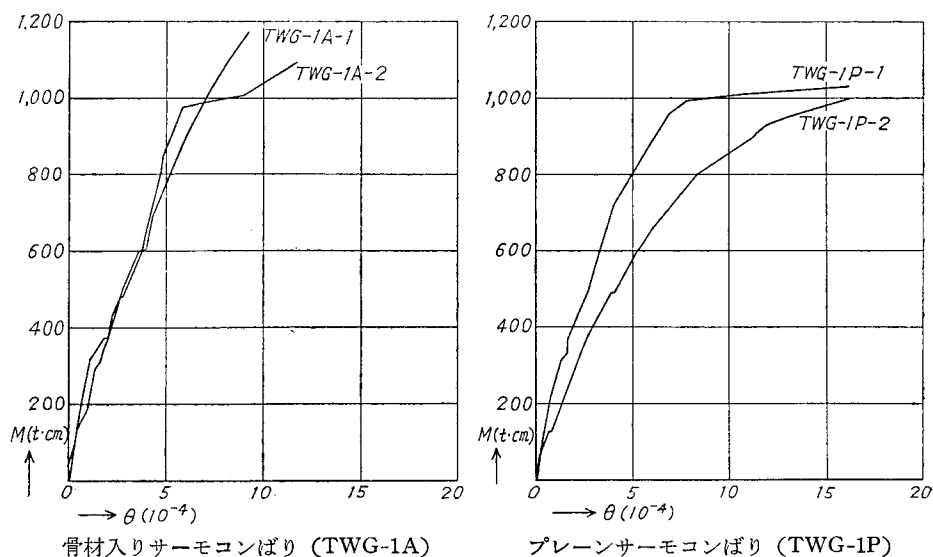
この回転角 θ は、はりの固定端の曲げモーメントに対するはり端部の回転変形によって生ずる θ_R と AB 間 ($A'B'$ 間) の曲げ変形による回転角 θ_M との和である。7 図は各試験体の実験結果を整理して固定端曲げモーメントとはり端部の回転角 θ_1, θ_2 の関係を示した。

。はり主筋の歪度

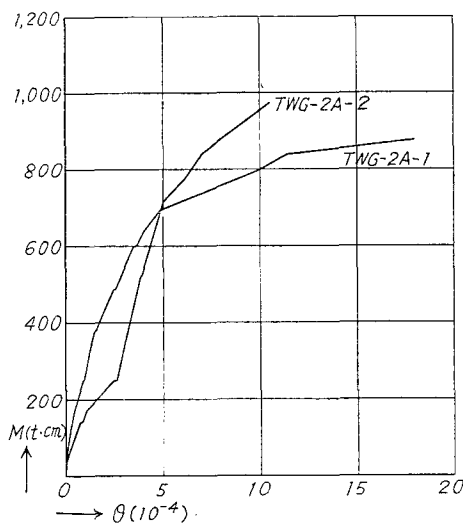
8 図は各試験体 2 個のうち、1 個にはり主筋に貼付けたワイヤーストレンゲージによって測定した歪度と対応する曲げモーメントの関係を示した。



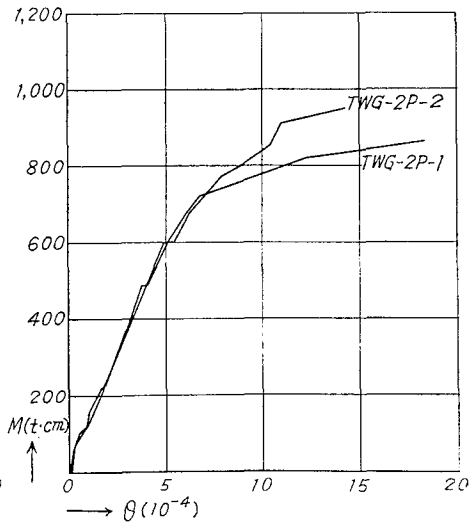
6 図



7 図(a) はり端モーメントー回転角曲線

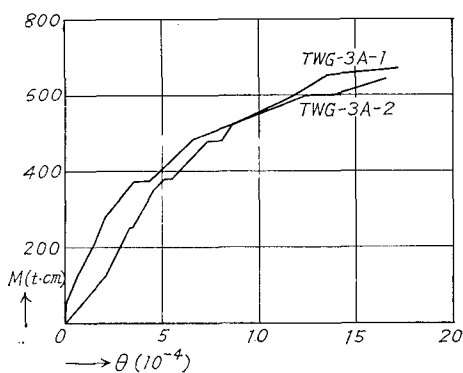


骨材入りサーモコンばり (TWG-2A)

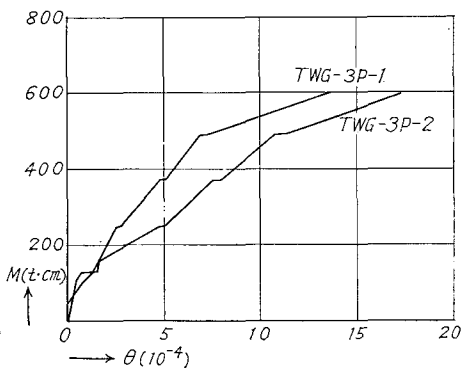


プレーンサーモコンばり (TWG-2P)

7 図(b) はり端モーメント一回転角曲線

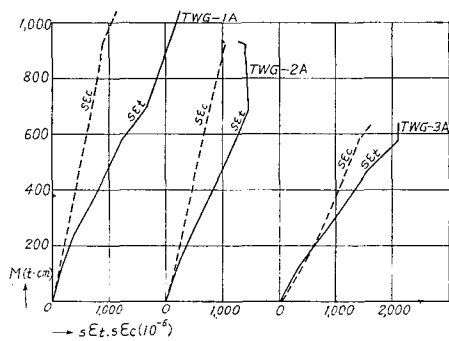


骨材入りサーモコンばり (TWG-3A)

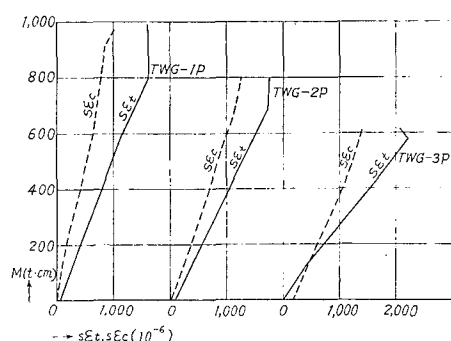


プレーンサーモコンばり (TWG-3P)

7 図(c) はり端モーメント一回転角曲線



8 図(a) 骨材入りサーモコンばりの $M-\epsilon$ 曲線



8 図(b) プレーンサーモコンばりの $M-\epsilon$ 曲線

d) 検 討

(i) はりの短期許容曲げ耐力

実験結果より各はり試験体は、すべてはり端部において曲げ破壊を生じており、引張側主筋の降伏後に耐力を失っている。

このことから、曲げ耐力に及ぼす補強筋として、はり主筋のみを有効とした場合および主筋とバスケットメッシュを有効と考えた場合について、普通鉄筋コンクリートばりと同様に下式を用いてはり断面の曲げ耐力を求めた。

$$M = a_t \cdot f_t \cdot j \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

M : はり断面の抵抗モーメント (t・cm)

a_t : 引張補強筋断面積 (cm²)

f_t : 引張補強筋の強度 (t/cm²)

j : 0.85 d (d は、圧縮サーモコン縁より引張主筋の中心までの距離)

ここで、補強筋として主筋のみとした場合の曲げ耐力を M_1 、主筋とメッシュを有効とした場合を M_2 とすれば

$$M_1 = a_{t1} \cdot f_t \cdot j \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

$$M_2 = a_{t2} \cdot f_t \cdot j \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

a_{t1} : 主筋の断面積

a_{t2} : 主筋とメッシュの断面積

5 表に (1.4) 式、(1.5) 式で求めた計算値と実験値を比較表示した。

5 表

サ コ ー モ ン	試 験 体	鉄 筋 比		実 験 値 M (t・cm)	計算値 M_0 (t・cm)		安 全 率 ν	
		主筋のみ	主筋+バスケットメッシュ		主筋のみ	主筋+メッシュ	主筋のみ	主筋+メッシュ
ブ レ ー ン	TWG1P	(3-13 ϕ) 0.391%	(+6-4.5 ϕ) 0.485%	1055	415	516	2.54	2.05
	" 2P	(2-13 ϕ) 0.260%	(同上) 0.354%	925	277	367	3.34	2.52
	" 3P	(2-9 ϕ) 0.125%	(+6-4.0 ϕ) 0.199%	630	134	212	4.71	2.97
骨 材 入 り	" 1A	(3-13 ϕ) 0.391%	(+6-4.5 ϕ) 0.485%	1120	415	516	2.70	2.17
	" 2A	(2-13 ϕ) 0.260%	(同上) 0.354%	951	277	367	3.43	2.60
	" 3A	(2-9 ϕ) 0.125%	(+6-4.0 ϕ) 0.199%	679	134	212	5.07	3.20

TWG-1 の場合

$$a_{t1} = 3.99\text{cm}^2 \text{ (3-13}\phi\text{)},$$

$$a_{t2} = 4.95\text{cm}^2 \text{ (3-13}\phi\text{, 6-4.5}\phi\text{)}$$

TWG-2 の場合

$$a_{t1} = 2.66\text{cm}^2 \text{ (2-13}\phi\text{)},$$

$$a_{t2} = 3.62\text{cm}^2 \text{ (2-13}\phi\text{, 6-4.5}\phi\text{)}$$

TWG-3 の場合

$$a_{t1} = 1.28\text{cm}^2 \text{ (2-9}\phi\text{)},$$

$$a_{t2} = 2.03\text{cm}^2 \text{ (2-9}\phi\text{, 6-4.0}\phi\text{)},$$

$$f_t = 2400\text{kg/cm}^2, j = 0.85d \text{ (} d = 51\text{cm)}$$

M_2 の算定にあたってはバスケットメッシュは主筋位置にあるものと仮定した。

6 表より計算値 M_1 、 M_2 に対する実験値はかなり大きく上廻っており、全体的にみて計算値 M_1 の安全率は約 2.5~5.1、 M_2 の安全率は約 2.0~3.2 となっている。TWG-3 ばかりにおいて実験値が計算値に対して、とくに大きいのは使用した主筋の強度 ($\sigma_y = 3860$

kg/cm²) に対して $f_t = 2400\text{kg/cm}^2$ とおさえたためである。

このことから、はりの端部における許容曲げ耐力(短期)として、主筋およびバスケットメッシュを有効と考えた M_2 の値と仮定すれば、許容値は実験値に対して安全率 $\nu \approx 2.0 \sim 3.2$ となり、はりの破壊に対する許容値の安全率は十分とおもわれる。

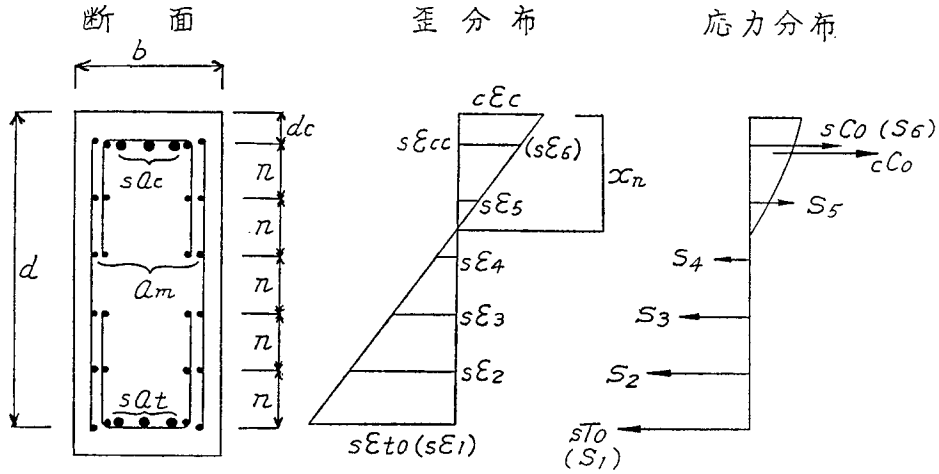
(ii) はり端部曲げ終局強度の解析

はりの端部における曲げ破壊強度は前項でのべたように許容耐力を大きく上廻る結果となっている。これは曲げ耐力に対する補強筋としては主筋および曲げ補強メッシュの他に、せん断補強に用いた平メッシュおよび隅角部に補強した斜め筋等が強度に寄与したものと考えられる。

そこで、はりの端部断面において、すべての補強筋を加味した場合のはり断面の曲げ終局耐力について解析を試みた。

はり端部断面の性質および断面の歪分布、応力分布は9図に示すようにはり端部断面における補強筋はす

べて有効と考え、歪分布は平面保持の仮定を用い、断面の応力平衡よりはり端部断面の曲げ耐力を算定した。



9 図

。記号

$s a_t$: 引張側主筋断面積

$s a_c$: 圧縮側 //

a_m : メッシュ 1 段の断面積

n : メッシュ間隔

d : 圧縮側縁より引張側主筋中心までの距離

d_c : 圧縮側縁より圧縮側主筋中心までの距離

x_n : 圧縮側縁からの中立軸までの距離

b : はり幅

$c \varepsilon_c$: 圧縮サーモコン縁歪

$s \varepsilon_{c0}$: 圧縮主筋歪

$s \varepsilon_{t0}$: 引張主筋歪

$s \varepsilon_i$: メッシュ歪 ($i=1, 2, 3, \dots$)

$c C_0$: サーモコン圧縮合力

$s C_0$: 圧縮主筋合力

S_i : メッシュ各段の合力 ($i=1, 2, 3, \dots$)

$s T_0$: 引張主筋合力

σ_c : コンクリート圧縮応力

σ_{y1} : 主筋の降伏点応力

σ_{y2} : メッシュの降伏点応力

歪の平面保持の仮定より

$$\left. \begin{aligned} s \varepsilon_1 &= s \varepsilon_{t0} \\ s \varepsilon_2 &= s \varepsilon_{t0} \cdot (1 - x_{n1} - n_1) / (1 - x_{n1}) \\ s \varepsilon_3 &= s \varepsilon_{t0} \cdot (1 - x_{n1} - 2n_1) / (1 - x_{n1}) \\ s \varepsilon_4 &= s \varepsilon_{t0} \cdot (1 - x_{n1} - 3n_1) / (1 - x_{n1}) \\ s \varepsilon_5 &= s \varepsilon_{t0} \cdot (1 - x_{n1} - 4n_1) / (1 - x_{n1}) \\ s \varepsilon_6 &= s \varepsilon_{t0} \cdot (1 - x_{n1} - 5n_1) / (1 - x_{n1}) \\ s \varepsilon_{c0} &= s \varepsilon_{t0} \cdot (x_{n1} - d_{c1}) / (1 - x_{n1}) \end{aligned} \right\} \dots (1.6)$$

suffix 1 がついたものは d で除したもの (以下同じ)

$$\left. \begin{aligned} c C_0 &= \alpha \cdot \sigma_c \cdot x_{n1} \cdot b \cdot d \\ s C_0 &= b \cdot d \cdot p_c \cdot E \cdot s \varepsilon_6 = b \cdot d \cdot \gamma \cdot p_t \cdot E \\ &\quad \cdot s \varepsilon_0 (1 - x_{n1} - 5n_1) / (1 - x_{n1}) \\ s T_0 &= b \cdot d \cdot p_t \cdot E \cdot s \varepsilon_{t0} \\ &\quad \text{但し } s C_0 \leq b d \cdot p_c \cdot \sigma_y, \\ &\quad \quad s T_0 \leq b d \cdot p_t \cdot \sigma_y \text{ とする。} \\ S_1 &= b \cdot d \cdot p_m \cdot E \cdot s \varepsilon_{t0} \\ S_2 &= b \cdot d \cdot p_m \cdot E \cdot s \varepsilon_3 = b \cdot d \cdot p_m \cdot s \varepsilon_{t0} \\ &\quad \cdot (1 - x_{n1} - n_1) / (1 - x_{n1}) \\ S_3 &= b \cdot d \cdot p_m \cdot E \cdot s \varepsilon_3 = b \cdot d \cdot p_m \cdot s \varepsilon_{t0} \\ &\quad \cdot (1 - x_{n1} - 2n_1) / (1 - x_{n1}) \\ S_4 &= b \cdot d \cdot p_m \cdot E \cdot s \varepsilon_4 = b \cdot d \cdot p_m \cdot s \varepsilon_{t0} \\ &\quad \cdot (1 - x_{n1} - 3n_1) / (1 - x_{n1}) \\ S_5 &= b \cdot d \cdot p_m \cdot E \cdot s \varepsilon_5 = b \cdot d \cdot p_m \cdot s \varepsilon_{t0} \\ &\quad \cdot (1 - x_{n1} - 4n_1) / (1 - x_{n1}) \\ S_6 &= b \cdot d \cdot p_m \cdot E \cdot s \varepsilon_6 = b \cdot d \cdot p_m \cdot s \varepsilon_{t0} \\ &\quad \cdot (1 - x_{n1} - 5n_1) / (1 - x_{n1}) \\ &\quad \text{但し } s \varepsilon_i \leq s \varepsilon_{y2} \text{ とする。} \end{aligned} \right\} \dots (1.7)$$

ここで E は補強筋のヤング係数

$$\begin{aligned} p_t &= \frac{a_t}{b d}, \quad p_c = \frac{a_c}{b d} \\ p_m &= \frac{a_m}{b d}, \quad \gamma = \frac{a_c}{a_t} \\ \alpha &= \left[\varepsilon_0 + \frac{\{(1 - \varepsilon_0)^{k+1} - 1.0\}}{k+1} \right] / \varepsilon_0 \end{aligned}$$

$\varepsilon_0 = c \varepsilon_c / c \varepsilon_m$,

k : (1.1), (1.2) 式参照

ϵ_m : サーマコン最大圧縮強度時の歪

$\sigma_{y2}=5500\text{kg/cm}^2$ とした。

断面 $b \times d = 20\text{cm} \times 51\text{cm}$

$d_c = 0.08d$, $n = 0.184d$

$p_t = 0.48\%$ (3-13 ϕ , 2-9 ϕ) $\gamma = 1.0$

$p_m = 0.064\%$ (4-4.5%)

◦ TWG-2 ばり

$p_t = 0.39\%$ (2-13 ϕ , 2-9 ϕ) $\gamma = 1.0$

ほかは TWG-1 ばりと同じ

◦ TWG-3 ばり

$\sigma_{y1} = 3800\text{kg/cm}^2$ ($\epsilon_y = 0.181\%$, $E = 2.1 \times 10^6\text{kg/cm}^2$)

$p_t = 0.22\%$ (2-9 ϕ , 2-9 ϕ) $\gamma = 1.0$

$p_m = 0.049\%$ (4-4.0 ϕ)

ほかは TWG-1 ばりと同じ

6 表

サ コ モ ン	試 験 体	実験値 M_0 ($\text{t} \cdot \text{cm}$)	計算値 ($\text{t} \cdot \text{cm}$)		$\frac{M_0}{M_y}$	$\frac{M_0}{M_m}$
			M_y	M_m		
骨 材 入 り	TWG-1A	1117	822	1155	1.36	0.97
	TWG-2A	951	631	967	1.51	0.98
	TWG-3A	679	540	763	1.26	0.89
プ レ ー ン	TWG-1P	1053	805	1134	1.31	0.93
	TWG-2P	924	615	947	1.50	0.98
	TWG-3P	629	530	758	1.19	0.83

6表より、はりの端部断面における曲げ耐力（実験値）は引張主筋降伏時（計算値）より約20～50%高い結果となっており、また終局理論値は、いずれも実験値

断面の応力平衡より

$$\Sigma T + \Sigma S - \Sigma C = 0 \quad \dots\dots\dots(1.8)$$

(1.8) 式の関係より x_n が得られ、更にはり断面の抵抗モーメントが得られる。

中立軸に関する抵抗モーメント \bar{M} は

$$\begin{aligned} \bar{M} = & bd^2 \cdot \{ c C_0 \cdot (1 - \beta) \cdot x_{n1} + s C_0 \cdot (x_{n1} - d_{c1}) \\ & + (s T_0 + S_1) \cdot (1 - x_{n1}) + S_2 \cdot (1 - x_{n1} - n_1) \\ & + S_3 \cdot (1 - x_{n1} - 2n_1) + S_4 \cdot (1 - x_{n1} - 3n_1) \\ & + S_5 \cdot (1 - x_{n1} - 4n_1) + S_6 \cdot (1 - x_{n1} - 5n_1) \} \\ & \dots\dots\dots(1.9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta = & \epsilon_0 \left[\left\{ \frac{\epsilon_0^2}{2} + (1 - \epsilon_0)^{k+1} \right\} / (k+1) \right. \\ & \left. - (1 - \epsilon_0)^{k+2} / (k+2) - 1 / (k+1) + 1 / (k+2) \right] \\ & / [\epsilon_0 + \{ (1 - \epsilon_0)^{k+1} - 1 \} / (k+1)] \end{aligned}$$

以上の諸式を用いて下記の値より、各はりの端部断面の引張主筋降伏時および終局曲げ耐力（圧縮側サーモコン圧潰時）を求めた。その結果を6表に示す。

◦ TWG-1 ばり

$$F_c = 87.5\text{kg/cm}^2 \quad (\epsilon_m = 0.22\%, k = 1.6)$$

骨材入りサーモコン

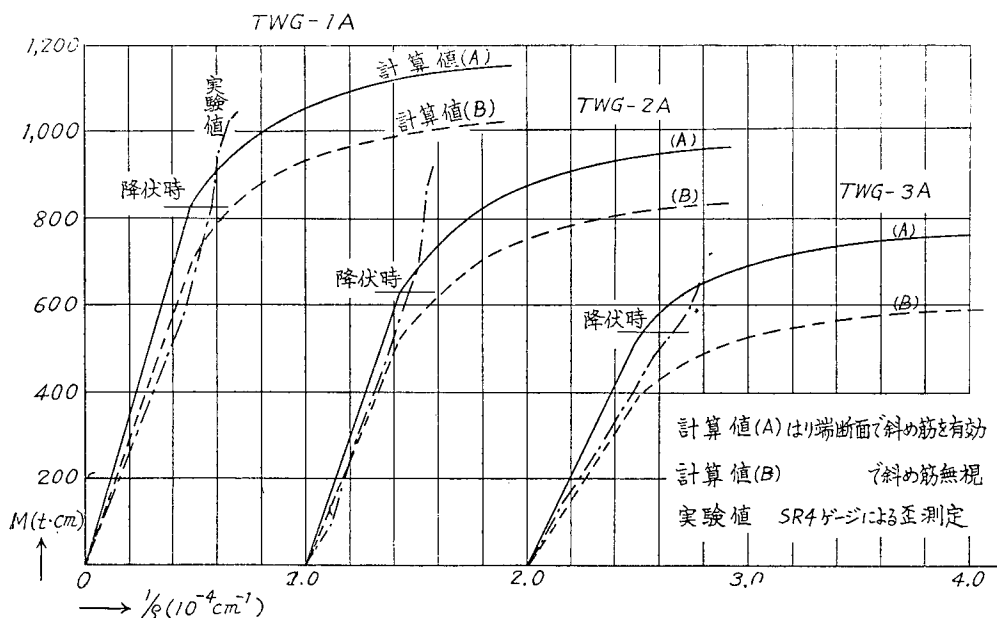
$$F_c = 68.0\text{kg/cm}^2 \quad (\epsilon_m = 0.26\%, k = 1.5)$$

プレーンサーモコン

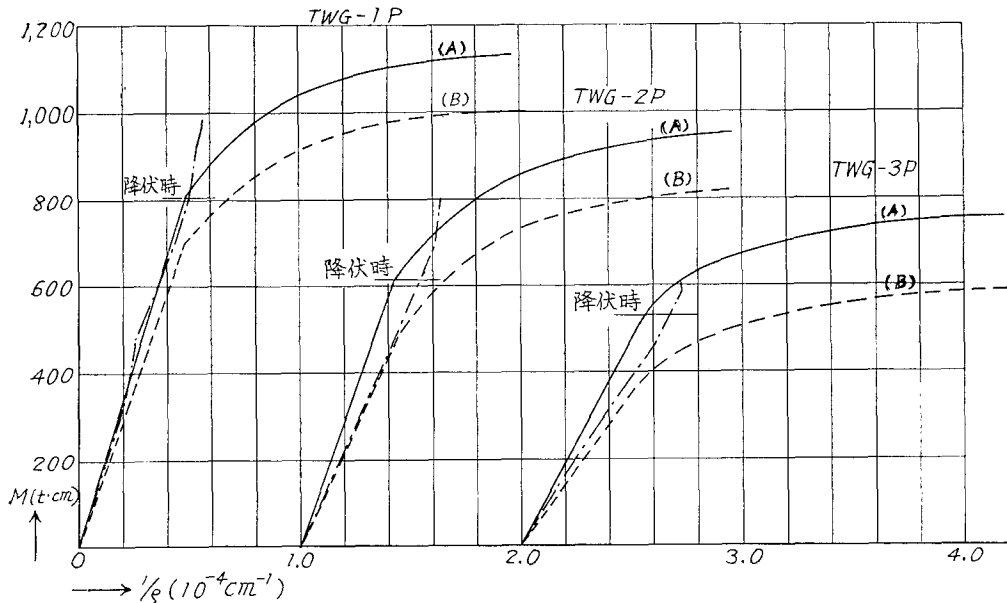
$$\sigma_{y1} = 3000\text{kg/cm}^2 \quad (\epsilon_y = 0.143\%, E = 2.1 \times 10^6\text{kg/cm}^2)$$

丸鋼、メッシュ共

但し終局耐力時におけるメッシュの強度は



10図(a) $M \sim 1/\rho$ 曲線（骨材入りサーモコンばり）



10図(b) $M \sim 1/\rho$ 曲線 (プレーンサーモコンばり)

よりもやや大きいがほぼ合致している。

このことから、主筋とメッシュで補強したはりの終局曲げ耐力は主筋の降伏後も、メッシュの補強効果により耐力は上昇し、終局耐力時には主筋・メッシュは勿論、斜め補強筋も耐力に寄与していることが認められる。

(iii) はりの曲率

はりの終局曲げ耐力の解析時に得られた引張主筋および圧縮サーモコンの歪度より曲げモーメントと曲率の関係を10図に示す。

はりの端部断面には斜め筋も有効としたが、斜め筋を無視した場合を点線で示した。

また鎖線は実験による歪の測定値より求めたものである。

計算値と実験値を比較すると引張側主筋の降伏時までは実験値と計算値は、ほぼ合致している。降伏後は引張側主筋に貼付したゲージの測定不能により正確な歪度の測定ができなかった。

(iv) はりのたわみ

実験によって得た各はりのたわみは柱形部を固定とした片持ばりとして、はり端部モーメントとの関係で5図に示したが、このたわみは曲げ変形によって生ずるたわみ δ_1 のほかに、せん断変形によるたわみ δ_2 および柱への通し鉄筋の伸び、あるいは定着メッシュのずれなどによるはりの端部の回転変形によるたわみ δ_3 が含まれているものと考えられる。

そこでこれらの諸変形によって生ずるたわみについ

て検討する。

。曲げ変形によるたわみ

片持ばりのたわみを前述(iii)の曲げモーメントと曲率の関係をを用いてモールの方法によって求めた。

いま、 $M-1/\rho$ の関係について、計算値を用い、はりの端部の特定モーメント時のたわみを求め7表に示した。

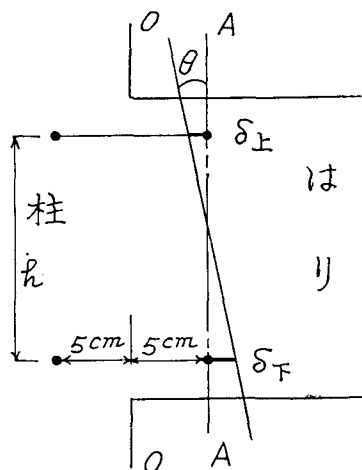
7表 曲げ変形によるたわみ

試験体	許容時 $\delta_{11}(\text{mm})$	降伏時 $\delta_{12}(\text{mm})$	終局時 $\delta_{13}(\text{mm})$
TWG-1A	1.36	2.18	6.2
TWG-2A	1.33	2.23	6.1
TWG-3A	1.04	2.66	6.6
TWG-1P	1.56	2.44	6.4
TWG-2P	1.34	2.18	6.2
TWG-3P	1.16	2.96	6.8

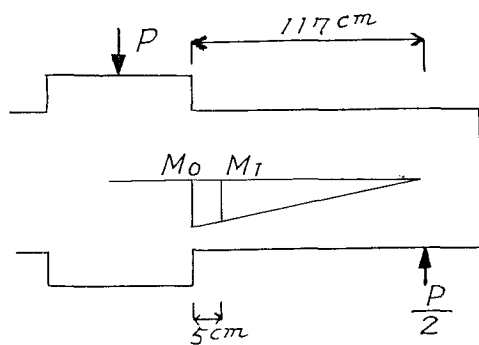
。はり端部の回転変形によるたわみ

はりの端部において、柱形部分に通し鉄筋とした主筋の伸びによる柱面からのすべり出し、あるいは定着したメッシュのずれなどによってはりの固定端は回転変形を生ずる。

実験では、はりの端部において11図に示すようにO—Oを中心として10cmの検長で変形の測定を行なったが、いま、仮にO—Oより柱側では変形しないものと



11 図



12 図

して、測定値はO—A間のO面に対するA面の回転角 θ とすれば、この θ はO—A間の曲げによる回転角 θ_M と柱形からの通し鉄筋の伸び出し、あるいは定着メッシュのずれによって生ずる回転角 θ_R の和である。実験値 θ より θ_M を差引くことによって θ_R が得られる。O—A間の曲げ変形による回転角 θ_M はつぎのようにして求められる。

12図より

$$M_0 = 117 \cdot \frac{P}{2} \quad (\text{t} \cdot \text{cm}) \quad M_1 = M_0 \times \frac{112}{117}$$

$$\left[\frac{1}{\rho} \right]_0 = \frac{M_0}{EJ}, \quad \left[\frac{1}{\rho} \right]_1 = \frac{M_1}{EJ}$$

$$\therefore \theta_M = \left\{ \left[\frac{1}{\rho} \right]_0 + \left[\frac{1}{\rho} \right]_1 \right\} \times \frac{1}{2} \times 5 \quad \dots\dots (1, 10)$$

(1.10)式を用いて

M_0 が短期許容耐力時および引張主筋降伏時における θ_M , θ_R を求め8表に示した。($[1/\rho]_0$, $[1/\rho]_1$ は前項(iii)の結果を用いた)

8表 $M_0-\theta_R$ の関係

	$M_0(\text{t} \cdot \text{cm})$		実験値 $\theta(10^{-4})^*$		$\theta_M(10^{-4})$		$\theta_R = \theta - \theta_M(10^{-4})$	
	許容時	降伏時	許容時	降伏時	許容時	降伏時	許容時	降伏時
TWG-1A	515	822	2.95	4.96	1.70	2.73	1.25	2.23
TWG-2A	377	631	2.03	3.93	1.28	2.10	0.75	1.83
TWG-3A	211	540	1.98	6.90	0.89	2.78	1.09	4.12
TWG-1P	515	805	3.71	5.79	1.55	2.40	2.16	3.63
TWG-2P	377	615	2.96	5.33	1.30	2.10	1.66	3.67
TWG-3P	211	530	2.23	9.60	1.13	2.75	1.10	8.50

* 実験値は平均値を採った

9表 はり固定端の回転剛性 (M/θ_R)

	許容耐力時 ($10^9 \text{ kg} \cdot \text{cm}$)	降伏耐力時 ($10^9 \text{ kg} \cdot \text{cm}$)
TWG-1A	4.57	3.69
TWG-2A	5.03	3.45
TWG-3A	1.94	1.31
TWG-1P	2.32	2.22
TWG-2P	3.27	1.68
TWG-3P	1.92	0.62

10表 はり端部の回転変形によるたわみ

	許容時 $\delta_{21}(\text{mm})$	降伏時 $\delta_{22}(\text{mm})$
TWG-1A	0.14	0.26
TWG-2A	0.09	0.21
TWG-3A	0.13	0.47
TWG-1P	0.25	0.42
TWG-2P	0.19	0.42
TWG-3P	0.13	0.98

11表 許容曲げ耐力時のたわみ

	実験値 たわみ δ_{01} (mm)	計算値たわみ (mm)			$\frac{\delta_{01}}{\delta_1}$
		曲げに よる δ_{11}	回転に よる δ_{21}	$\delta_{11} + \delta_{21}$	
TWG-1A	2.15	1.36	0.14	1.50	1.4
TWG-2A	2.20	1.33	0.09	1.42	1.5
TWG-3A	1.00	1.04	0.13	1.17	0.9
TWG-1P	3.25	1.56	0.25	1.81	1.8
TWG-2P	2.10	1.34	0.19	1.53	1.5
TWG-3P	0.95	1.16	0.13	1.29	0.7

8表より、はり固定端の回転剛性 M/θ_R を求め9表に示す。はり端部の回転変形によるたわみ δ_2 は(1.11)

12表 引張主筋降伏時のたわみ

	実験値 たわみ δ_{02} (mm)	計算値たわみ δ_2			$\frac{\delta_{02}}{\delta_2}$
		曲げに よる δ_{12}	回転に よる δ_{22}	$\delta_{12} + \delta_{22}$	
TWG-1A	4.10	2.18	0.26	2.44	1.7
TWG-2A	4.90	2.23	0.21	2.44	2.0
TWG-3A	5.70	2.66	0.47	3.13	1.8
TWG-1P	6.25	2.44	0.42	2.86	2.2
TWG-2P	4.34	2.18	0.42	2.60	1.7
TWG-3P	6.20	2.96	0.98	3.94	1.6

式より求め10表に示した。

$$\delta_2 = 115\theta_R \text{ (cm)} \quad \dots\dots\dots(1.11)$$

以上11表および12表より、計算値に対して実験値はいずれも大きな値を示している。

これは計算では曲げおよび端部回転による変形について求めたものであるが、実験値にはせん断変形によるたわみも含まれているためであろう。この実験でせん断変形の測定はしていないが、はりのせいとせん断スパンの関係からせん断変形による影響は大きいものと考えられる。

え) サーマコンばりの設計図表

実験および解析の結果、材料の品質の向上したサーモコンを使用することによって、耐力は勿論、剛性も高まるところが確められた。そこで、このサーモコンを構造材料として使用する場合の実際建物の設計資料としてはりの計算図表を作製する。

計算図表を作製するに当たって材料の性質を下記のとおり仮定した。

・サーモコン

- 圧縮強度 $F_c = 70 \text{ kg/cm}^2$
- ヤング係数 $E = 2.1 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$
- 許容応力度
 - 長期 $f_c = 20 \text{ kg/cm}^2$
 - 短期 $f_c = 40 \text{ kg/cm}^2$

・鋼材

- 降伏点強度 $\sigma_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ 以上
- ヤング係数 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
- 許容応力度
 - 長期 $f_t = 1600 \text{ kg/cm}^2$
 - 短期 $f_t = 2400 \text{ kg/cm}^2$
- ヤング係数比 $n = E_s/E_c = 55$ とする。

設計式は普通鉄筋コンクリートの場合の常用式に準じ下式を用いた。

許容曲げモーメント $M = C \cdot b \cdot d^2$

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{n \cdot p_t \cdot f_c}{3x_{n1}} \left\{ (1-x_{n1})(3-x_{n1}) \right. \\ &\quad \left. - \gamma \left(x_{n1} - \frac{d_c}{d} \right) \left(3 \frac{d_c}{d} - x_{n1} \right) \right\} \\ C_2 &= \frac{p_t \cdot f_t}{3(1-x_{n1})} \left\{ (1-x_{n1})(3-x_{n1}) \right. \\ &\quad \left. - \gamma \left(x_{n1} - \frac{d_c}{d} \right) \left(3 \frac{d_c}{d} - x_{n1} \right) \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1.11)$$

ただし C は C_1, C_2 のうち、小さいほうをとる。

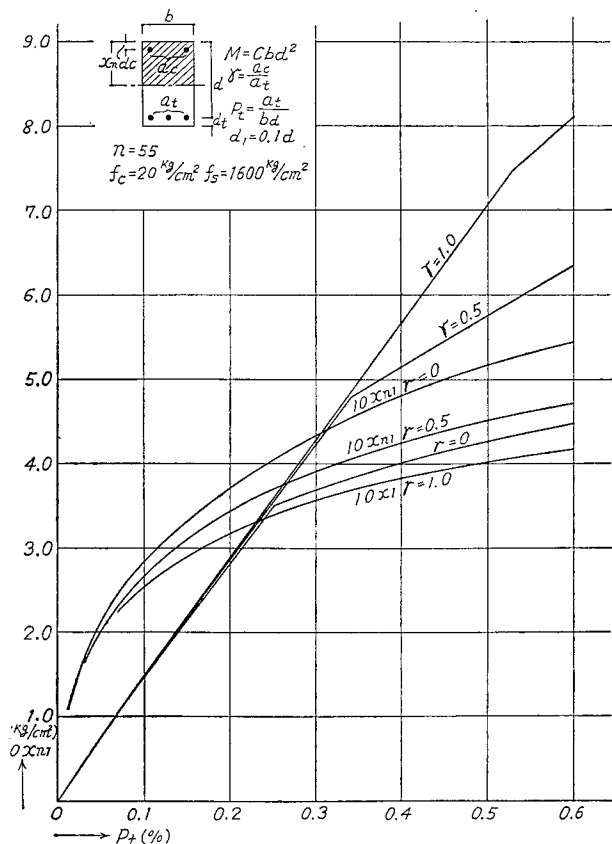
中立軸比

$$x_{n1} = n \cdot p_t \left\{ \sqrt{(1+\gamma)^2 + \frac{2}{n \cdot p} \left(1 + \gamma \frac{d_c}{d} \right)} - (1+\gamma) \right\} \dots\dots\dots(1.12)$$

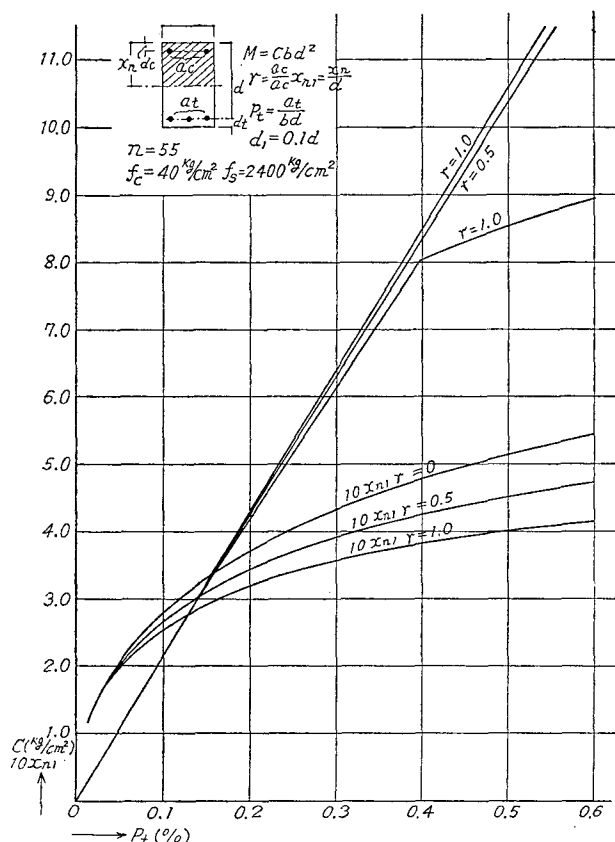
上式で p_t は主筋断面と有効な曲げ補強メッシュ断面の和より求め、その重心位置は主筋位置とする。

いま $p_t = 0 \sim 0.6\%$ $d_c = 0.1d$

$\gamma = 0, 0.5, 1.0$ として求めた結果を13図に示す。



13図(a) サーマコンばり長期設計図表



13図(b) サーマコンばり短期設計図表

むすび

はりの断面が 幅20cm×丈55cm, 曲げ補強筋比 $p_t \approx 0.2\% \sim 0.5\%$ ($r=1.0$) で, 中央部に柱形を想定した, ほぼ, 実大断面・配筋のはり試験体の曲げ破壊試験を行なった。

この実験で明らかになった事項はつぎのとおりである。

(i) はりの破壊はすべてはり端部において, 曲げによる引張鉄筋の降伏後に生じた。破壊時の耐力は主筋および曲げ補強メッシュを有効とした短期許容耐力を大きく上廻っており破壊耐力に対する許容耐力の安全率は $\nu \approx 2.0 \sim 3.2$ となっている。

(ii) 破壊強度は主筋およびすべてのメッシュおよび斜め筋を有効として求めた終局強度よりやや低いが, ほぼ一致する。このことから終局耐力に及ぼす補強筋の効果は主筋・メッシュは勿論, 斜め筋までも有効であることが認められた。

(iii) はりの柱部との接合部を固定端とした場合ははりのたわみは曲げおよびせん断変形のほかに, 柱部への通し鉄筋の伸び出し, あるいは定着メッシュのずれ

によるはり端部の回転変形によるたわみが含まれる。本実験ではせん断変形の測定を行っていないが, 曲げおよび回転変形によるたわみの検討を行なった結果, 実験たわみは計算たわみよりやや大きく, かなりのせん断変形の影響があるものと思われる。

(iv) 本実験で用いたサーモコンはプレーンおよび骨材入りサーモコンの2種類であるが, 両者の優劣は明確にはあらわれていない。しかし, 本実験の範囲では強度・剛性ともに骨材入りサーモコンの方がプレーンサーモコンよりやや良い結果が得られた。

(v) 強度および剛性等の検討により品質向上したサーモコンは普通コンクリートと同じような性質をもつことがほぼ明らかにされたので実際設計にサーモコンを使用する場合の計算図表を鉄筋コンクリート造に準じて作成した。

2.2 壁のせん断試験

a) 実験目的

サーモコンを構造材料として利用する場合は一般に壁式構造とする。

品質向上したサーモコンは圧縮強度の上昇と共にせん断強度も高まることは

当然考えられる。そこで, 本実験では構造材として, メッシュで補強したほぼ実大に近い壁体の一部を想定した試験体をつくり, せん断試験を行ない, 壁の耐力・剛性および補強メッシュの効果等について検討を行なった。

b) 実験内容

(i) 試験体形状・寸法および種別記号

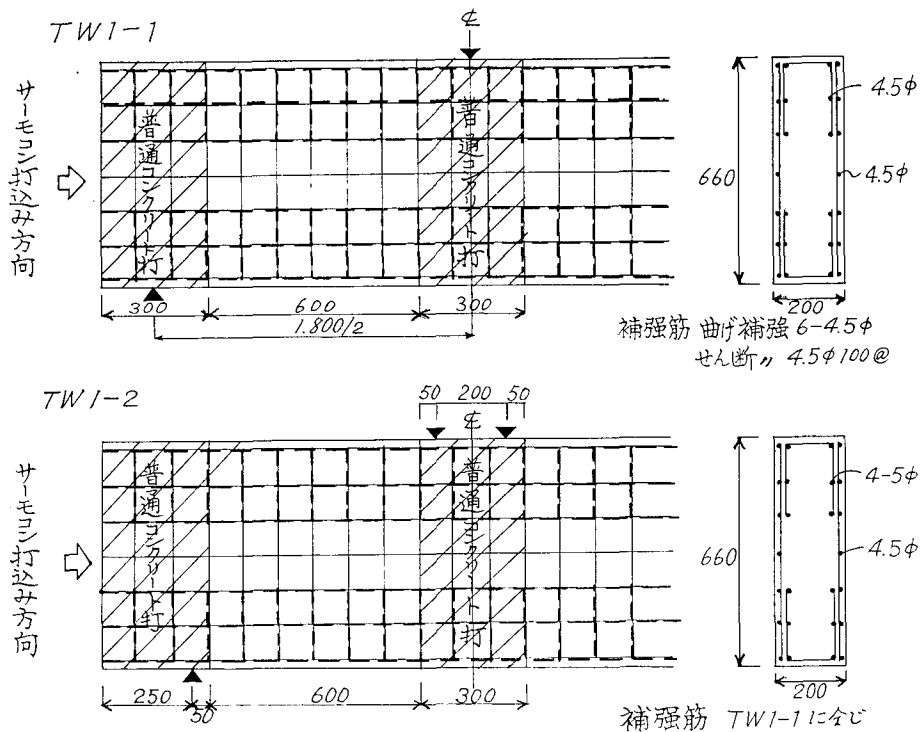
試験体は1図に示すような壁断面は幅20cm×丈66cm, (壁長), 補強筋としては曲げ補強としてバスケットメッシュ 4.5ϕ を用い, せん断補強には平メッシュタテ・ヨコ10cm 間隔とした 4.5ϕ —2枚を用いたもので, 加力点および支点は応力伝達をスムーズにするために普通コンクリート打とした。

試験体の形状・寸法を1図に示す。また試験体の種別・記号を1表に示した。

(1表で TW1-3, 1-4, および TW2-1 は実験の結果, せん断破壊をせず曲げ破壊をおこしているので参考までに実験結果のみ示す)

(ii) 使用材料の性質

・サーモコン



1 図 試験体形状および補強詳細

1 表 試験体種別・記号および個数

試験体 記 号	配 筋	試験方法	試験体 個 数
TW1-1	せん断補強メッシュ 4.5φ-100@ 曲げ 6-4.5φ	曲げスパン 1,800 シャースパン 600 中央一点加力	1
TW1-2	同 上	1,600 600 2点加力	1
TW1-3	同 上	曲げスパン 2,800 シャースパン 1,100 中央一点加力	2
TW1-4	同 上	1,600 600 2点加力	4
TW2-1	せん断補強メッシュ 3.2φ-100@ 曲げ 6-3.2φ	1,600 600 2点加力	4

サーモコンは品質向上したプレーンサーモコンおよび骨材入りサーモコンの2種を用いた。試験時の圧縮強度はつぎのとおり。

骨材入りサーモコン

$F_c = 73 \text{ kg/cm}^2$ (材令59日)……TW1-1～TW1-3

$F_c = 73 \text{ kg/cm}^2$ (材令81日)……TW1-4, TW2-1

プレーンサーモコン

$F_c = 96 \text{ kg/cm}^2$ (材令81日)……TW1-4, TW2-1

○メッシュ

4.5φ $\sigma_B = 6.32 \text{ t/cm}^2$

3.2φ $\sigma_B = 5.80 \text{ t/cm}^2$

(iii) 試験装置および測定装置

試験機は 100 t 万能試験機を使用し、1 図にも示したように、TW1-1 試験体では試験体中央に一点荷重を加えたが、TW1-2 試験体では中央部で2点加力とした単純ばり形式によるせん断試験で、加力時には一方向のくり返し荷重を漸次増大させた。(TW1-3～TW2-1 試験体では前章はりの曲げ試験で用いた加力装置を用いた。)

変形の測定は2図に示すように壁の頭部と脚部(加力点と支点)との相対変形をダイヤルゲージで測定し、サーモコン表面の歪度測定は試験体の片面に鋼球(径1mm)をうめ込んだ直径10mmのメタルを貼付け、特定荷重時にコンタクトゲージを用いて測定を行なった。

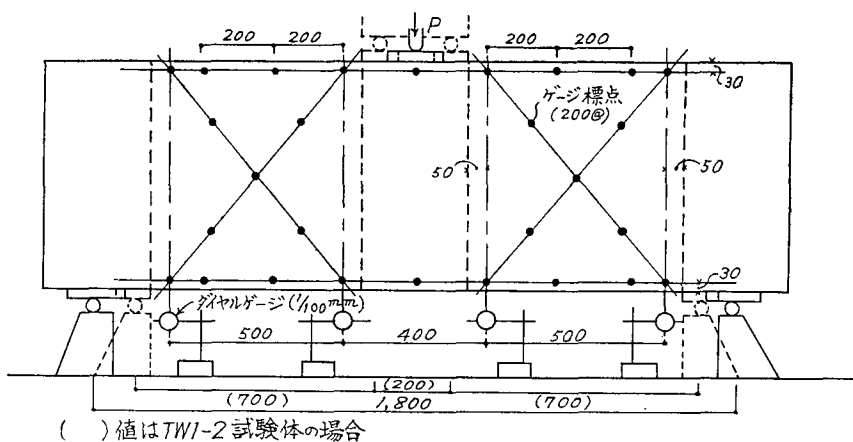
c) 実験結果

(i) 最大荷重

各試験体の最大荷重、最大荷重時のせん断応力度および破壊の原因を2表に示す。

(ii) 壁のたわみ

壁のたわみの測定より荷重とサーモコン部分の相対



2 図 加力および測定装置

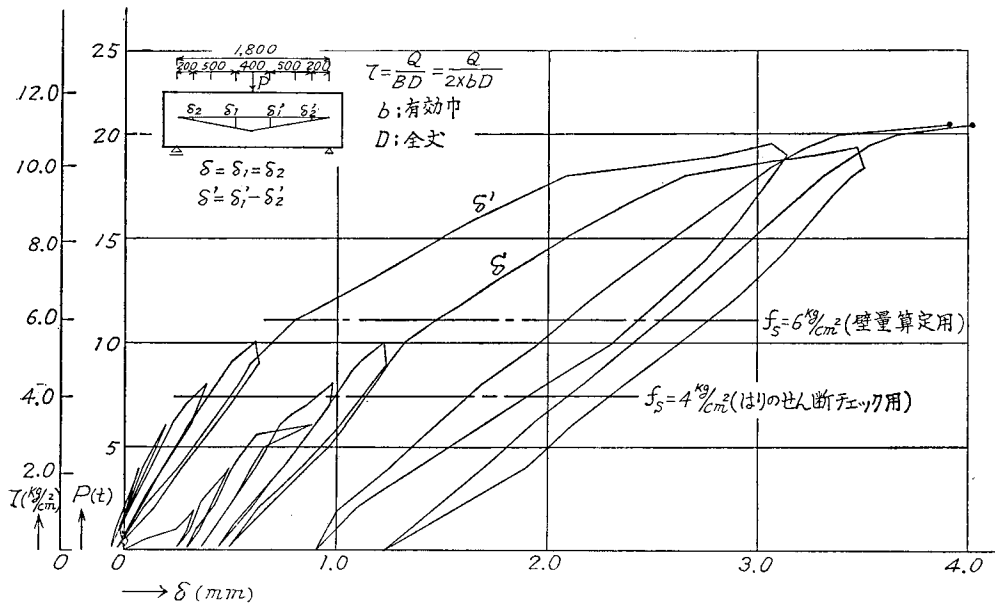
2 表

	最大荷重 P_{\max} (t)	最大荷重時の せん断応力度 τ (kg/cm ²)	破 壊 の 原 因
TW1-1	20.4	11.0	引張側メッシュ破断
TW1-2	22.0	11.9	サーモコン圧潰後 引張側メッシュ破断
TW1-3	10.7	5.8	引張側メッシュ破断
	10.3	5.6	〃
TW1-4	14.8	8.0	〃
	14.5	7.9	サーモコン圧潰後 引張側メッシュ破断
	14.0	7.6	〃
	12.2	6.6	引張側メッシュ破断
TW2-1	6.0	3.2	〃
	6.8	3.7	〃
	5.9	3.2	〃
	5.4	2.9	〃

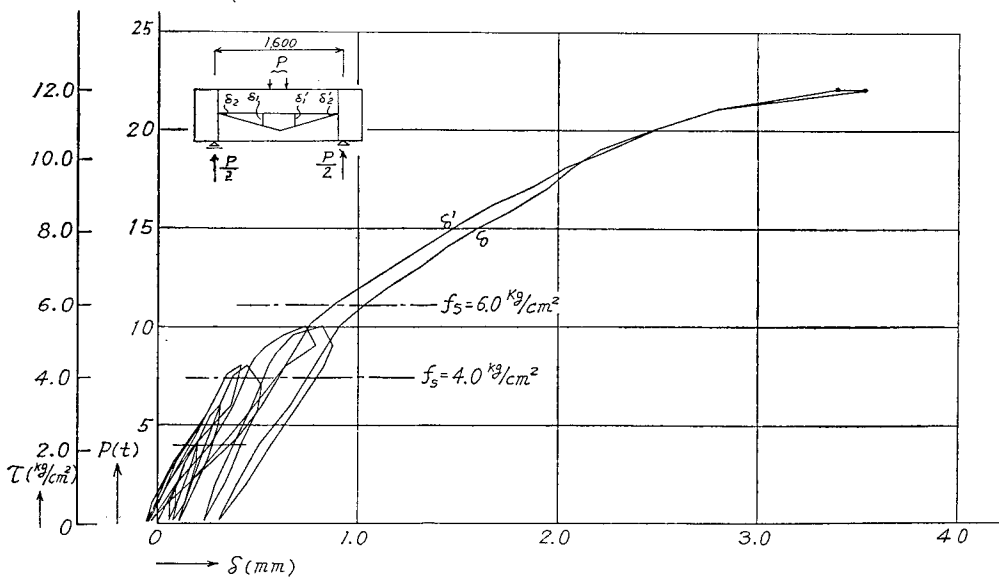
但し

$$\tau = \frac{P/2}{B' \times D}$$

$B' = B - 6 \text{ cm}$ (有効巾)
 $B = \text{全巾}$ $D = \text{全文}$



3 図 $P(\tau)-\delta$ 曲線 (TW1-1 の場合)



4 図 $P(\tau)-\delta$ 曲線 (TW1-2 の場合)

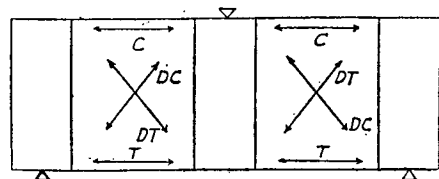
たわみ $\delta = \delta_1 - \delta_2$, $\delta' = \delta'_1 - \delta'_2$ の関係で, 3 図, 4 図に示す。

(iii) サーマコン表面歪

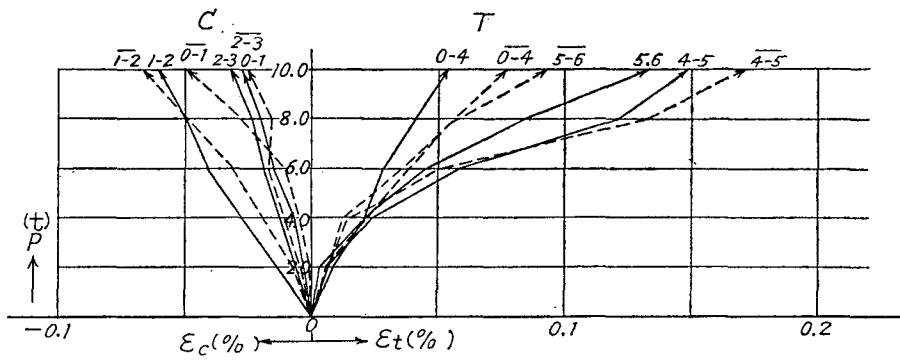
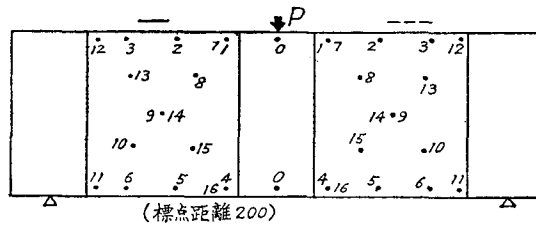
測定した歪度を 5 図に示すようにに C , T , DC , DT に分けて荷重と歪度の関係を 6 図～8 図に示した。

(iv) 特定荷重時のサーモコン表面各歪度

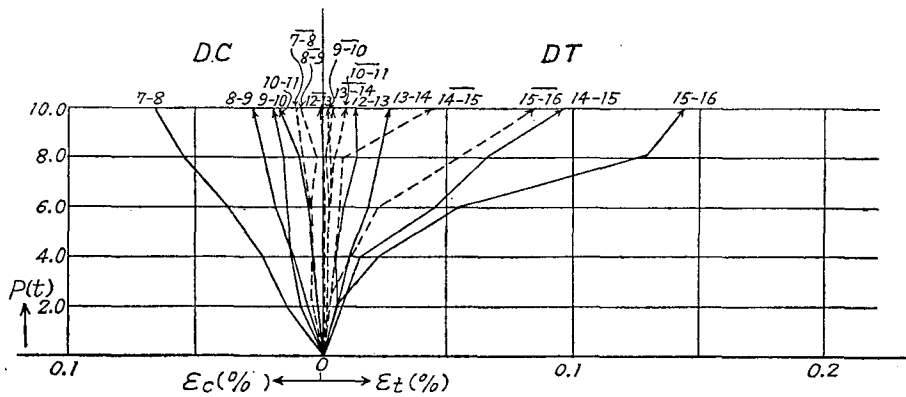
サーモコン表面歪度の測定は破壊直前まで, 荷重



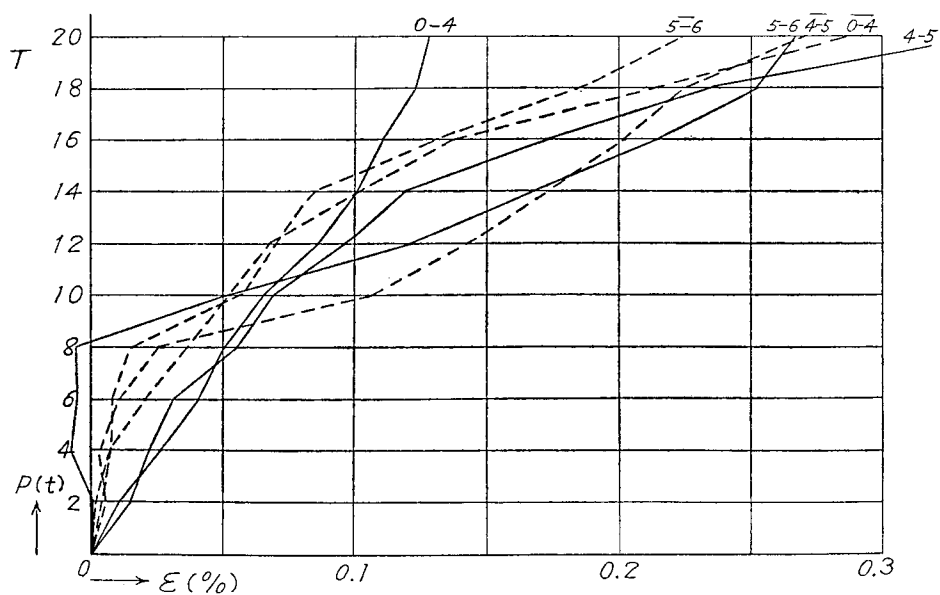
5 図 各方向歪度の記号



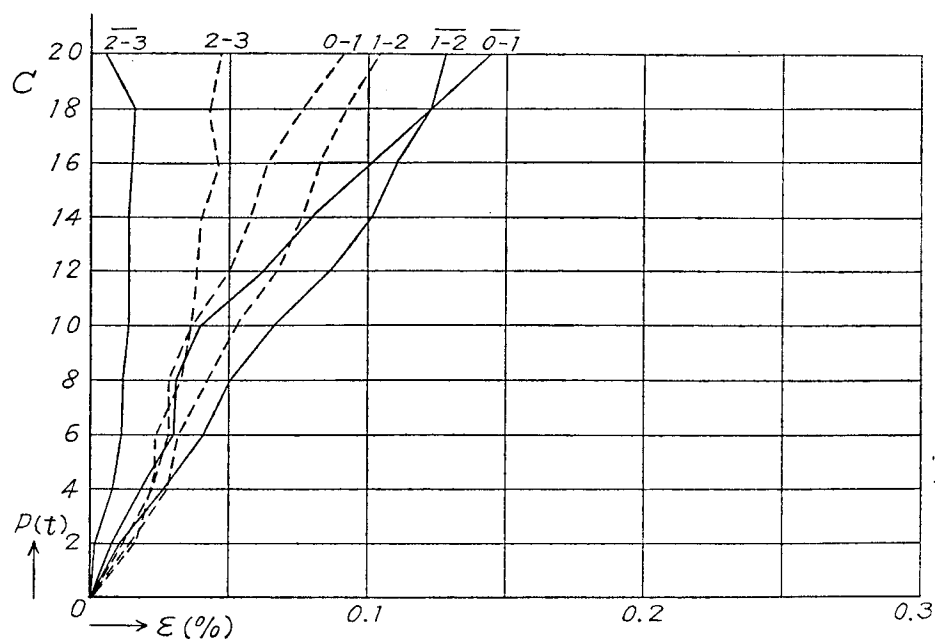
6 図(a) 荷重と圧縮および引張歪度の関係



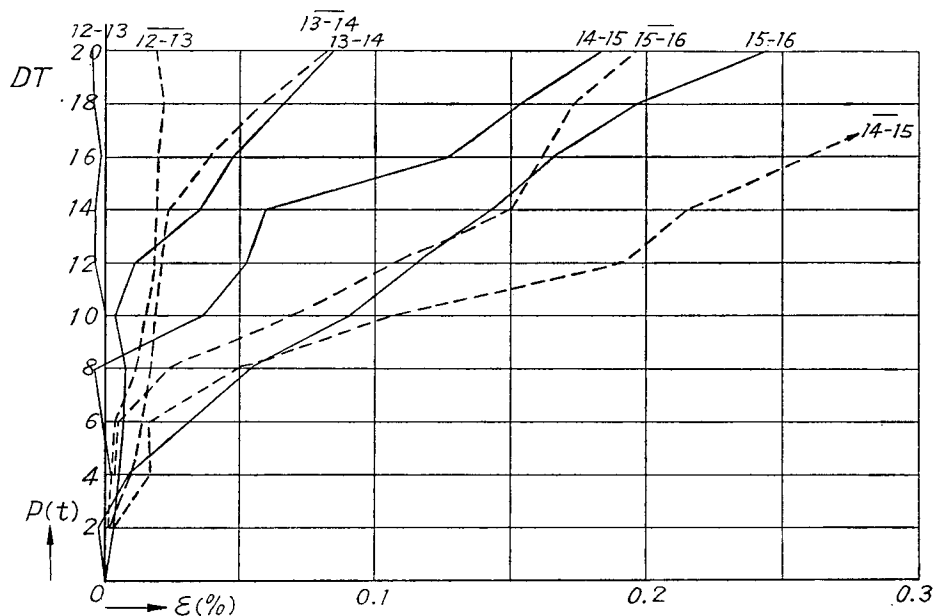
6 図(b) 荷重と斜め圧縮および引張歪度の関係



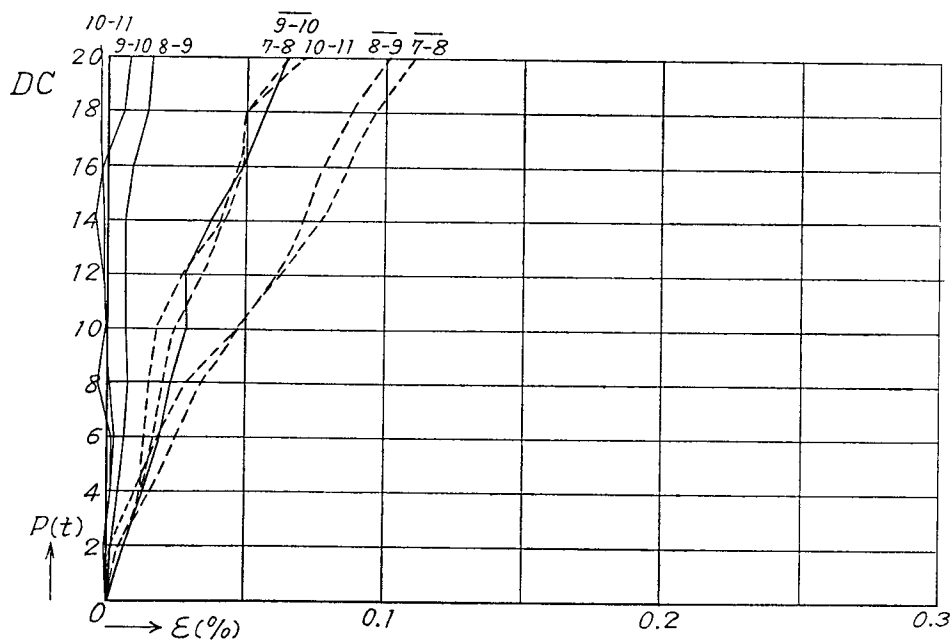
7図(a) 荷重と引張歪度の関係 (TW-1-2 の場合)



7図(b) 荷重と圧縮歪度の関係 (TW1-2 の場合)



8 図(a) 荷重と斜め引張歪度の関係 (TW1-2 の場合)



8 図(b) 荷重と斜め圧縮歪度の関係 (TW1-2 の場合)

2.0 t 毎に測定を行なったが、3 表は 6.0 t、10.0 t 時および最終測定時の各方向歪度を示す。

3 表 各方向歪度 (単位 $\times 10^{-5}$)

試験体		TW1-1		TW1-2		
荷重時		6.0t	10.0t	6.0t	10.0t	20.0t
圧縮歪	C	27.5 (41.0)	46.2 (66.0)	27.0 (41.0)	42.2 (66.0)	71.2 (128.0)
	DC	8.1 (37.0)	12.8 (65.0)	15.4 (25.0)	21.1 (46.0)	83.3 (110.0)
引張歪	T	48.0 (59.0)	136.8 (172.0)	15.3 (46.0)	62.0 (151.0)	255< (341<)
	DT	19.0 (54.0)	51.3 (143.0)	8.1 (31.0)	42.5 (106.0)	145.6 (321<)

上記の値は各方向 2～4 ケ所の測定の平均値で示したもので、() 内は各方向の最大歪度を示す。

d) 検 討

本実験ではほとんどの試験体が曲げ補強筋の不足により、曲げ破壊を生じたためにサモコン壁体のせん断耐力を確かめることは出来ないが、しかし TW1-1、TW1-2 試験体はせん断破壊に近い曲げ破壊を起こしたと思われるので、以下 TW1-1、TW1-2 試験体について検討を行なう。

(i) 壁の短期せん断許容耐力の安全率

TW1-1 および TW1-2 試験体で得た破壊強度をせん断強さとする。

いま、仮に許容せん断応力度 $f_s = 6.0 \text{ kg/cm}^2$ (短期) とした場合、破壊強度に対する許容耐力はどの程度の安全率を有するものであるかを調べると 4 表となる。

4 表

試験体	実 験 値		短 期 許 容 値 f_s (kg/cm^2)	安全 率 ν	
	Q_{\max} (t)	$\tau_{s\max}$ (kg/cm^2)		有効断面 に関して ν_0	全断面に 関して ν'
TW1-1	10.2	11.0 (7.7)	6.0	1.84	1.28
TW1-2	11.0	11.9 (8.3)	6.0	1.99	1.38

$\tau_s = Q/bD$, (τ_s) = Q/BD () 値は全断面積について

$$bD = (20-6) \times 66 \text{ cm} \quad \text{有効断面積}$$

$$BD = 20 \times 66 \text{ cm} \quad \text{全断面積}$$

4 表よりせん断補強メッシュに 4.5ϕ (タテ・ヨコ 10 cm 間隔、2 枚) を用いたサモコン壁体の許容耐力に

対して、破壊荷重は $\nu \approx 1.8 \sim 2.0$ の安全率を示す。
(もし全断面有効とすれば $\nu \approx 1.3 \sim 1.4$ となる)

なお、曲げ補強筋を増すことによって、まだ耐力増大が考えられるので有効断面を用いた場合 $f_s = 6.0 \text{ kg/cm}^2$ は破壊荷重に対して十分な値と思われる。

また、本試験体は曲げ破壊をしているので、曲げに対する安全率を調べる。

5 表は破壊荷重より、サモコン部分の受ける最大曲げモーメントと通常設計に用いる短期許容曲げモーメント (曲げ補強メッシュ $f_t = 2400 \text{ kg/cm}^2$) を略算式で求めた値を比較したものである。

5 表

	実 験 値		短期許容 曲げモー メント ($\text{t}\cdot\text{cm}$)	安全率 ν
	P_{\max} (t)	M_{\max} ($\text{t}\cdot\text{cm}$)		
TW1-1	20.4	765.0	123	6.35
TW1-2	22.0	715.0	123	5.81

$$\text{実験値 } M_{\max} = Pl/2 \quad (l: 75 \text{ cm, (TW1-1)})$$

$$(l: 65 \text{ cm (TW1-2)})$$

短期許容曲げモーメントの計算

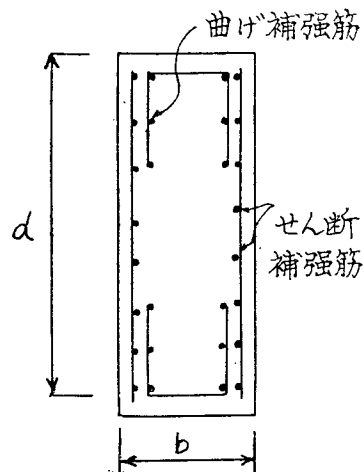
$$M = 0.85d \cdot a_t \cdot f_t$$

曲げ補強メッシュ $6-4.5\phi$ (バスケットメッシュ)

d : 圧縮縁より引張側メッシュ最下段筋重心までの距離

$$f_t : 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$M : 0.85 \times (66-3) \times 0.96 \times 2.4 = 123 \text{ t}\cdot\text{cm}$$



5 表より通常サモコン構造で用いられる略算式で

求めた値は、曲げ破壊モーメントに対して $\nu \approx 6$ の安全率を示す。これはメッシュの引張強度に対して許容引張応力度がかなり低いことと、曲げ耐力に対してバスケットメッシュ（曲げ補強筋）の他に平メッシュも有効に働いたものと考えられる。

(ii) 破壊時における補強メッシュの応力

・せん断補強メッシュ（平メッシュ）

破壊時には斜めキレツが全面的に生じているので、全せん断力はメッシュによって負担されていると考えられる。このことから、せん断補強メッシュの引張応力度 σ_t を次式で推定すると

$$a_t \cdot \sigma_t = Q \times \frac{x}{j} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

但し σ_t : せん断補強メッシュの引張応力度

a_t : " 1組の断面積（2枚）

Q : せん断力

j : $0.85d$ と仮定する（ $d=66-13=53\text{cm}$ ）

x : メッシュの間隔

$$\sigma_t = 11000 \times 10 / 0.32 \times 45 \approx 9000 \text{ kg/cm}^2$$

上記の値はメッシュの引張強さよりも大きい

・曲げ補強メッシュ（バスケットメッシュ）

破壊荷重よりサーモコン部分の受ける最大曲げモーメントを求め、下式により引張メッシュの応力度を推定すると

$$\sigma_t = M / a_t \cdot j \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\sigma_t = 660 / 0.96 \times 45 \approx 15000 \text{ kg/cm}^2$$

（バスケットメッシュ $6-4.5\phi$ を有効とする）

上記の値はメッシュの引張強さの2倍以上になっている。

これは、実際には曲げ応力に対して中立軸より下にあるすべてのメッシュ、すなわちバスケットメッシュ $6-4.5\phi$ のほかに壁平メッシュ（ $4.5\phi-10\text{cm}@2$ 枚）もあるが、バスケットメッシュのみを有効としたために外ならない。

以上の計算応力度および破壊時寸前に測定した斜め方向および引張縁歪度より破壊の原因を考察すると、引張側メッシュは破断寸前（歪度0.32%以上）の状態で、斜め引張歪は0.30%以上、圧縮サーモコンの歪度は0.14%以上に達し、いわゆる曲げせん断破壊を生じたものと推定される（TW1-2 試験体の場合）。

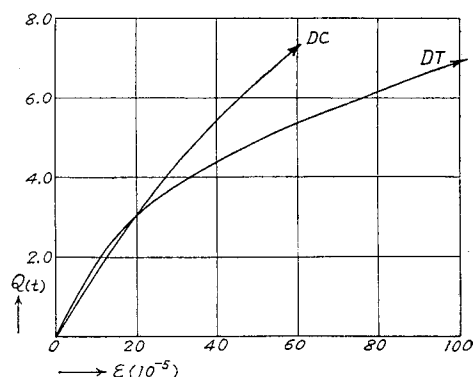
(iii) 剛性

荷重—たわみ曲線および荷重—サーモコン表面歪度曲線のデータにもとづいて、曲げおよびせん断剛性を検討する。

・せん断剛性 [GA]

サーモコン表面歪測定値のうち斜め引張および斜め圧縮歪の各方向4個の平均値とせん断力の関係を9図

に示す。

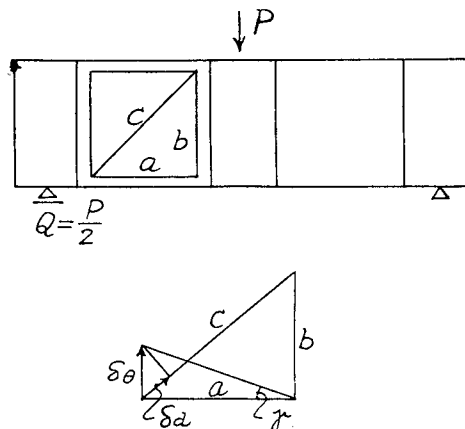


9図 $Q-DC, DT$ の関係

9図には TW1-1, TW1-2 試験体の平均値を整理して示したが、斜め引張歪 DT は $Q \approx 3.0 \text{ t}$ で勾配がゆるやかになっており、この点がせん断キレツの発生時と思われる。

斜め方向の圧縮歪および引張歪の測定値より、せん断力のみによるせん断歪角 γ をつぎのように求めた。

10図でせん断歪角 γ は斜め方向の歪のみに関係するものとして、その平均歪度を ε_a とすると



10 図

$$\delta a = \varepsilon_a \times c$$

$$\delta \theta = \delta a \times c / b$$

$$\gamma = \delta \theta \times 1 / a$$

これより $\gamma = \varepsilon_a \times c^2 / cb$ となる。

いま、せん断キレツ発生時と思われる $Q = 3.0 \text{ t}$ ($\tau_c = 3.3 \text{ kg/cm}^2$) および $Q = 5.5 \text{ t}$ (仮定した短期許容せん断応力度 $\dots\dots \tau_s \approx 6 \text{ kg/cm}^2$) に相対するせん断力時の ε_a より γ を求める。

9図より $\varepsilon_{a1} = 1.95 \times 10^{-5}$ (キレツ発生時)

$$\varepsilon_{d2}=52 \times 10^{-5}$$

($\tau_s=6.0\text{kg/cm}^2$, DC, DT の平均をとる)

$$\left. \begin{array}{l} \text{初キレッツ時} \quad \gamma_1 \approx 0.39 \times 10^{-3} \\ \text{仮定した短期許容時} \quad \gamma_2 \approx 1.05 \times 10^{-3} \end{array} \right\} \text{実験値}$$

これを計算によって求めると

$$\bar{\gamma} = \frac{\tau}{G} = \frac{K \cdot Q}{G \cdot A} \quad \text{より}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{初キレッツ時} \quad \bar{\gamma}_1 \approx 0.30 \times 10^{-3} \\ \text{仮定した短期許容時} \quad \bar{\gamma}_2 \approx 0.49 \times 10^{-3} \end{array} \right\} \text{計算値}$$

ここで $*G=1.65 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$, $A=b' \cdot D$ (b' :有効幅), $K=1.5$ (形状係数)

* $G=1.65 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ の値はコンクリート系材料に用いられる関係式 $G=0.43E$ ($E=3.85 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$) より求めた。

γ の計算値を実験値に合わせるために $K=1.5$ はそのままとして $[GA]$ を修正すると

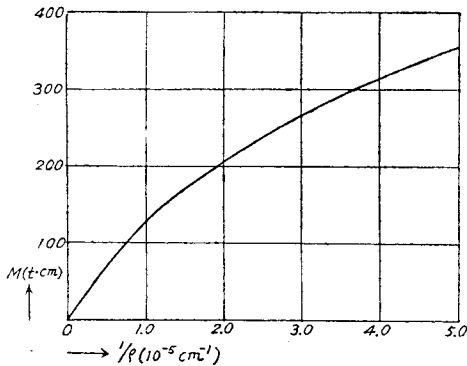
$$\text{せん断キレッツ発生時} \quad GA \text{ (実)} \approx 0.77GA \text{ (計)}$$

$$\tau_s=6.0\text{kg/cm}^2 \text{ 時} \quad GA \text{ (実)} \approx 0.47GA \text{ (計)}$$

となる。

・曲げ剛性 $[EJ]$

曲げ剛性 $[EJ]$ はサーモコン表面歪測定値のうち荷重点に最も近い圧縮縁歪 $\varepsilon_{s1.2}$ および引張縁歪 $\varepsilon_{t4.5}$ より, この部分の曲げモーメントと曲率の関係から求めた。11図に $M-1/\rho$ 曲線を示す。



11図 $M-1/\rho$ 曲線

一般に曲げモーメントを受ける材では $EJ=M/(1/\rho)$ の関係があるから, この式を用いて実験値より曲げ剛性 $[EJ]$ を求める。

いま, せん断キレッツ発生時および $\tau=6.0\text{kg/cm}^2$ 時についてみると

せん断キレッツ発生時

$$M=210\text{t}\cdot\text{cm} \rightarrow 1/\rho=20.4 \times 10^{-6}\cdot\text{cm}^{-1}$$

$$[EJ]_1=10.3 \times 10^9 \text{kg}\cdot\text{cm}^2$$

$$\tau_s=6.0\text{kg/cm}^2 \text{ 時}$$

$$M=385\text{t}\cdot\text{cm} \rightarrow 1/\rho=59.6 \times 10^{-6}\text{cm}^{-1}$$

($M-1/\rho$ 曲線より)

$$[EJ]_2 \approx 6.5 \times 10^9 \text{kg/cm}^2$$

サーモコン全断面を有効とした計算値 $[EJ]_0$ と比較すると

$$\text{せん断キレッツ発生時} \quad [EJ]_1/[EJ]_0 \approx 0.86$$

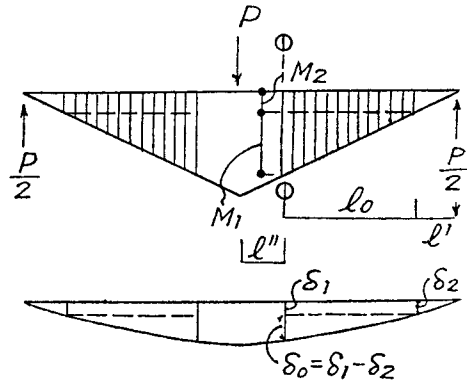
$$\tau=6.0\text{kg/cm}^2 \text{ 時} \quad [EJ]_2/[EJ]_0=0.54$$

但し計算値算定は $E=3.85 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$,

$$J=b'D^3/12$$

(iv) たわみ

実験結果の3, 4図で示した。たわみ $\delta_0=\delta_1-\delta_2$ は12図に示すように M_2 による均等曲げモーメントによる曲げたわみ, M_1 の三角分布曲げモーメントによる曲げたわみと $P/2$ のせん断力によるたわみおよび l'' の曲げによる①面の回転によるたわみが合成されたものと考えられる。しかし l'' 間は殆んど普通コンクリートになっており, その曲げ変形は僅かであるので, ①面の回転は無視することができる。



12 図

断面の性質を均質なものとしたときの通常の公式によるとたわみは次式で表わされる。

$$\delta_0 = \frac{\left(\frac{P}{2}\right)}{3EJ} \cdot l_0^2 + \frac{\left(\frac{P}{2}\right)}{2EJ} \cdot l_1^2 + \frac{\left(\frac{P}{2}\right)}{GA} \cdot l_0 \dots\dots(2.3)$$

(2.3) 式を用いて, せん断キレッツ発生時および $\tau_s=6.0\text{kg/cm}^2$ 時についてたわみを求め, 実験値と比較すると6表となる。

6 表

(mm)

	せん断キレッツ発生時		$\tau_s=6.0\text{kg/cm}^2$ 時	
	実験値	計算値	実験値	計算値
TW1-1	0.28	0.30	1.01	0.56
TW1-2	0.29	0.27	0.95	0.50

$$E=3.85 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2, \quad G=1.65 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2,$$

$$k=1.5, \quad J=\frac{1}{12}b' \cdot D^3, \quad A=b' \cdot D, \quad b'=(20-6)\text{cm},$$

$$D=66\text{cm}, \quad l_0=50\text{cm}, \quad l'=20\text{cm}(\text{TW1-2で} \geq 10\text{cm})$$

6表より計算値は実験値に比較して、せん断キレツ発生時では実験値はほぼ合致しているが、 $\tau_s = 6.0 \text{ kg/cm}^2$ 時では計算たわみは実験たわみの約50%程度小さい値となっている。

そこで $\tau_s = 6.0 \text{ kg/cm}^2$ 時について前節（せん断剛性および曲げ剛性）の検討で標準剛性（ $[GA]_0$, $[EJ]_0$ とする）に対して実験値より得た剛性（ $[GA]$, $[EJ]$ とする）の比を α , β とし、それぞれ修正係数として乗じたものを用いてたわみの検討をする。

$$\begin{aligned} [EJ] &= \alpha [EJ]_0 \\ [GA] &= \beta [GA]_0 \end{aligned}$$

ここで $\alpha=0.54$, $\beta=0.47$ を用いると

実験値たわみ 0.95~1.01mm

計算値たわみ 1.00~1.10mm となり

計算値は実験値にほぼ合致する。

このことから標準剛性を用いて(2.3)式よりたわみを求める場合、修正係数を乗ずることによって許容耐力時 ($\tau_s = 6.0 \text{ kg/cm}^2$) 程度までのたわみ量を求めることができる。

本実験では

曲げ剛性に対する修正係数 $\alpha = 0.54$ せん断剛性に対する修正係数 $\beta = 0.47$

とすると実験によく合うことが確められた。

むすび

壁厚20cm、壁長66cmのほぼ実大断面・配筋のサーモコン壁体のせん断実験を行なった。

この実験では曲げ補強筋の不足により真のせん断破壊強度を確めることはできなかったが、本実験で明らかになった事項はつぎのとおりである。

(i) サーモコンの品質向上により、壁体の許容せん断応力度を $f_s = 6.0 \text{ kg/cm}^2$ と仮定した場合、せん断補強メッシュに 4, 5mm タテ・ヨコ 10cm 間隔とした平メッシュ 2 枚を使用した壁体の破壊荷重に対する安全率は $\nu=2$ となり、曲げ補強を増すことにより更に破壊荷重は上昇するものと思われるので、許容値は十分な安全率をもつものと思われる。

(ii) 壁体の曲げ耐力に及ぼす補強メッシュは曲げ補強メッシュ（バスケットメッシュ）のみならずせん断補強メッシュ（平メッシュ）も有効に働くようである。

(iii) 壁体のせん断キレツの発生は斜め方向歪度の測

定より $\tau \doteq 3.0 \text{ kg/cm}^2$ 程度と推定される。

(iv) 壁体のたわみを通常の均質断面の場合に使用される公式を用いて求める場合には、曲げ剛性 $[EJ]$ 、せん断剛性 $[GA]$ の値としては標準剛性 $[EJ]$ 、 $[GA]$ に修正係数を乗ずることによって求めることができる。本実験において、下記の修正係数を乗ずることによって、許容耐力時までのたわみの近似値を得ることができた。

曲げ剛性に対する $[EJ] = \alpha [EJ]_0$, ($\alpha = 0.54$)

せん断剛性に対する $[GA] = \beta [GA]_0$, ($\beta = 0.47$)

2.3 壁柱脚部の強度試験

a) 実験目的

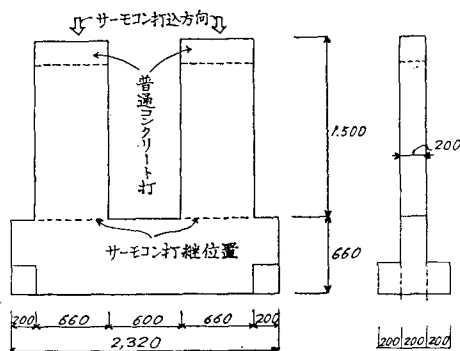
本構造では壁体の補強メッシュが各階床位置で途切れるので、下方への応力伝達には特殊の形のアンカーメッシュを用いる工法が採用されている。ただし壁の緑鉄筋は上下に通し鉄筋とすることは可能である。

本実験は、この壁脚接合部を対象として、軸力、曲げおよびせん断力が加わるときのこの部分の耐力に及ぼす補強効果および回転剛性など検討するために破壊試験を行なった。

b) 実験内容

(i) 試験体形状・寸法および種別記号

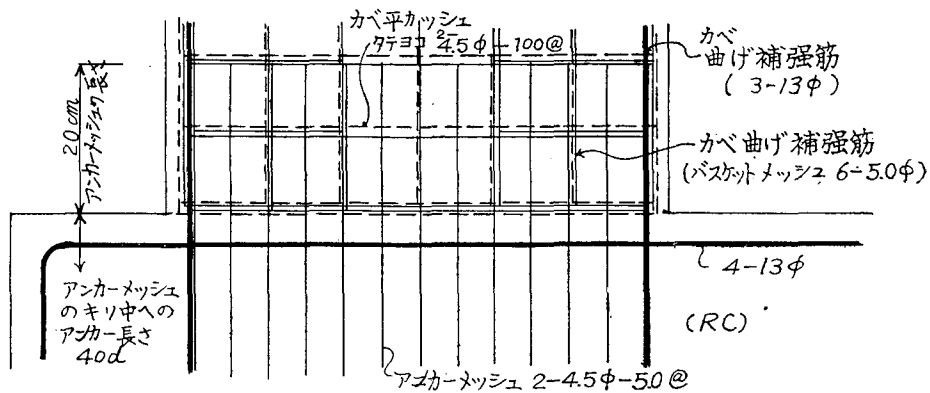
試験体は1図に示すように壁体の断面は厚さ20cm,



1 図 試験体形状・寸法

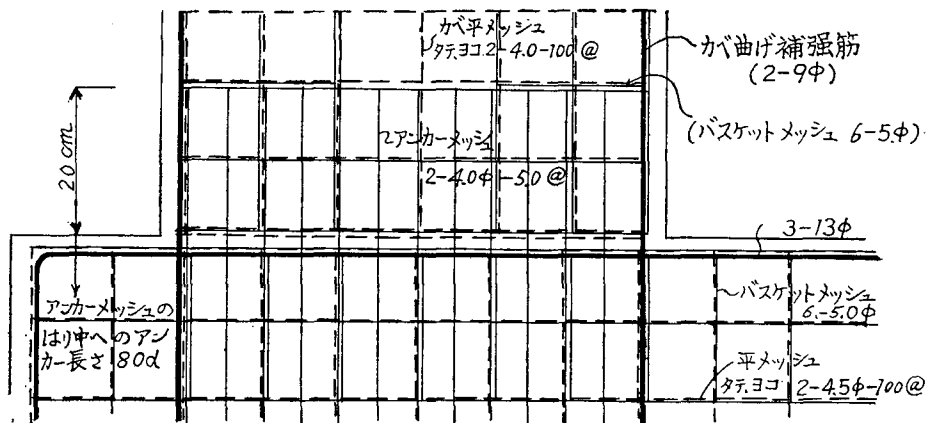
壁長さ66cm, 高さ約150cmのほぼ実大壁(高さは実際壁高の $h/2$ を想定した)を2枚一組としてはり(または基礎)上端に立脚させたもので, 脚部補強は2図に示すように壁の縁鉄筋として2-13mm, 2-9mmを用い下部への定着メッシュは特殊な曲げ加工メッシュアンカメッシュを用いた。

縁鉄筋はいずれも下部に定着させてある。脚部補強の程度による試験体種別・記号を1表に示す。



TWC-1 (TWC-2) 脚部配筋

註) TWC-2 は曲げ補強筋2-13φはない



TWC-3 脚部配筋

2 図 壁 脚 部 の 補 強

1 表 試験体記号, その他

試験体 記 号	試験体と 実際の構 造体との 関連	壁脚部補強筋		摘 要
		壁主筋	アンカー メッシュ	
TWC-1	基礎と 1階壁 脚部	2-13φ	2-4.5φ 50@	基礎は RC 造
TWC-2	"	"	2-4.5φ 50@	"
TWC-3	2階壁ば りとは2階 壁脚部	2-9φ	2-4.0φ 50@	壁, はり ともサー モコン造

(ii) 使用材料

。サーモコン

骨材入りサーモコンおよびプレーンサーモコンを使用した。

試験時における圧縮強度はつぎのとおりである。

骨材入りサーモコン

$$F_c = 85.3 \text{ kg/cm}^2 \sim 88.0 \text{ kg/cm}^2$$

(材令58日～63日)

プレーンサーモコン

$$F_c = 87.3 \text{ kg/cm}^2 \sim 90.6 \text{ kg/cm}^2$$

(材令58日～63日)

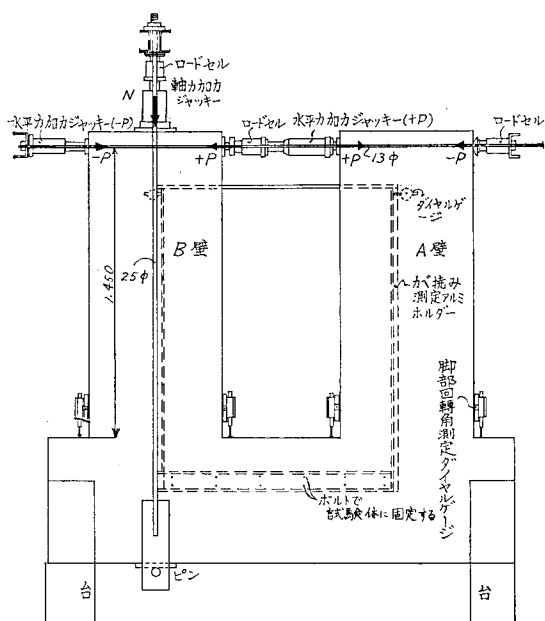
。鋼材

$$\text{丸 鋼} \begin{cases} 13\phi & \sigma_y = 3,000 \text{ kg/cm}^2 \\ 9\phi & \sigma_y = 3,860 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$$

$$\text{メッシュ} \begin{cases} 4.5\phi & \sigma_B = 6,320 \text{ kg/cm}^2 \\ 4.0\phi & \sigma_B = 6,100 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$$

(iii) 加力装置および測定装置

実験では壁体に軸力と水平力が加わる場合の壁脚部耐力を対象としたので, 加力装置は3図に示すように2枚の壁体のうち一方の壁(B)に一定の軸力を加えておき, 2枚の壁の間にオイルジャッキを狭み同時に水平力を加える。水平力は正負のくり返し荷重を加え, 軸力のない壁体(A)が破壊したのちは, この壁体(A)



3図 加力装置

が反力壁となるように一方の軸力よりも大きい軸力を加えて正負の水平荷重を徐々に高めてB壁体を破壊させるものである。

荷重の検力はロードセルを用いた。また、変形の測定には壁脚部の回転変形および壁体の脚部と水平加力点との相対たわみをダイヤルゲージで測定した。

c) 実験結果

(i) 破壊荷重

各試験体の破壊はいずれも壁脚部の引張側で曲げ引張壊を生じた。

軸力のない場合には引張側の縁筋およびアンカーメッシュの定着破壊を起こし、また縁筋のない場合には軸力を加えた場合にも定着破壊を起こした。

この実験で得た最大荷重およびその時の壁脚部の曲げモーメントを2表に示す。

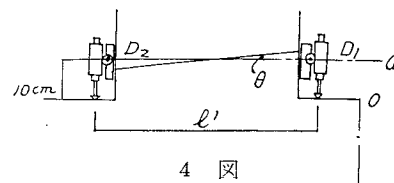
2 表

	最大荷重 (t)		最大荷重に相当する壁脚部曲げモーメント (t・cm)	
	N = 0	N = 12t*	N = 1	N = 12t*
TWC-1A	4.0	6.25	580	905
TWC1-P	4.0	6.0<	580	905<
TWC-2A	1.0	3.2	145	462
TWC-2P	1.1	3.45	160	498
TWC-3P	2.35	4.8	340	693

$$M = P \times 145 \text{ t} \cdot \text{cm}$$

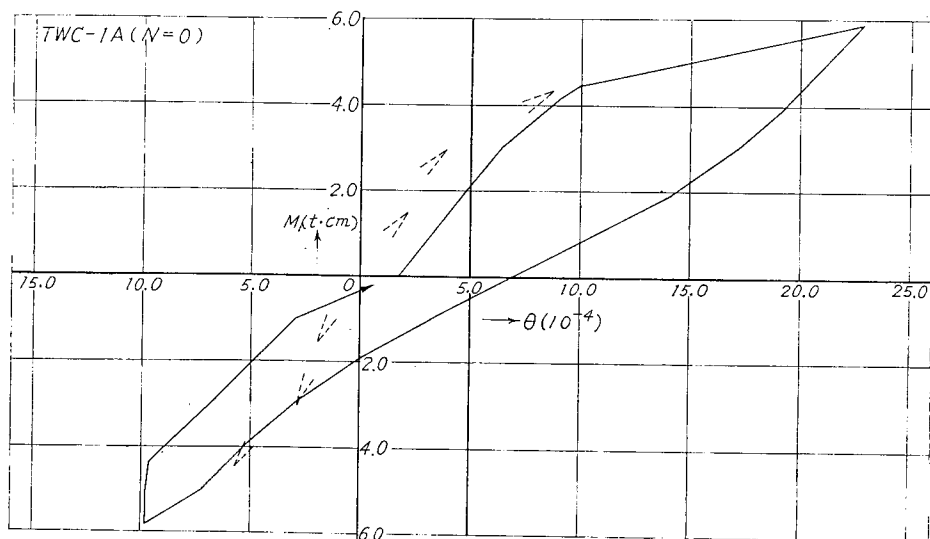
* N = 12 t は通常の設計の場合の1例であり、壁の有効断面に対して $\sigma = 12.7 \text{ kg/cm}^2$ に相当する軸力である。

(ii) 壁脚部の回転変形

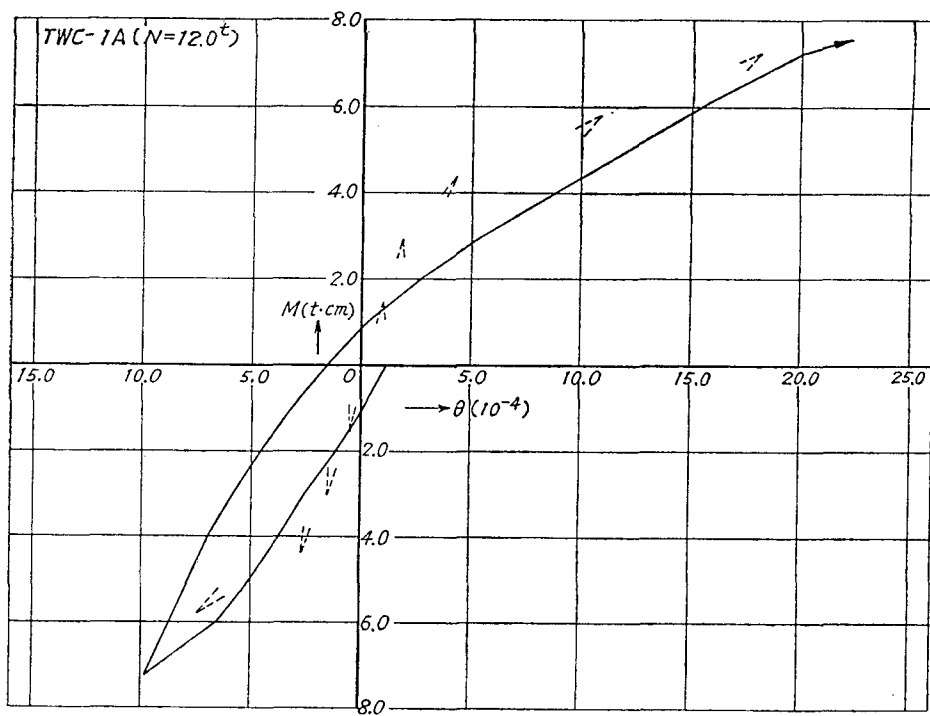


4 図

5図 壁脚部モーメント (M) と壁脚部回転角 (θ) の関係 (骨材入りサーモコン)

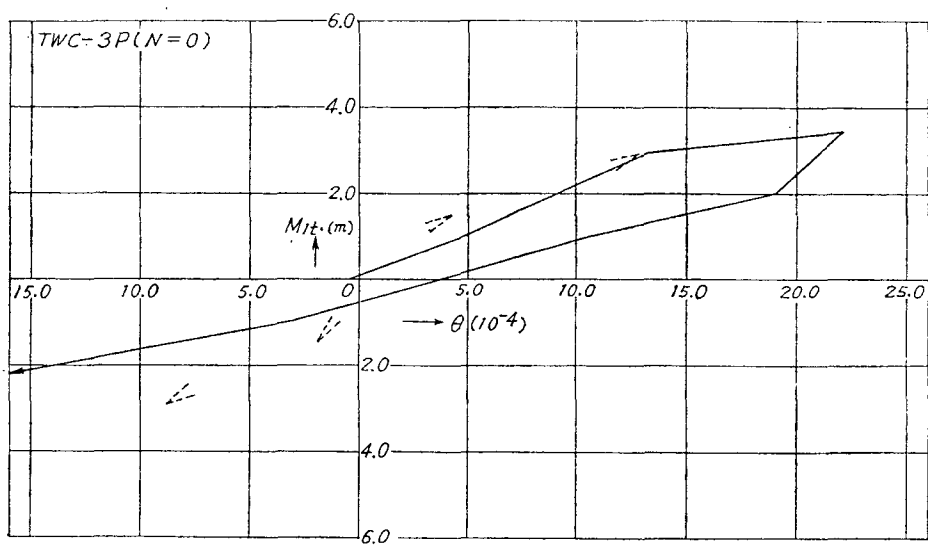


5図(a) 軸力N = 0 の場合

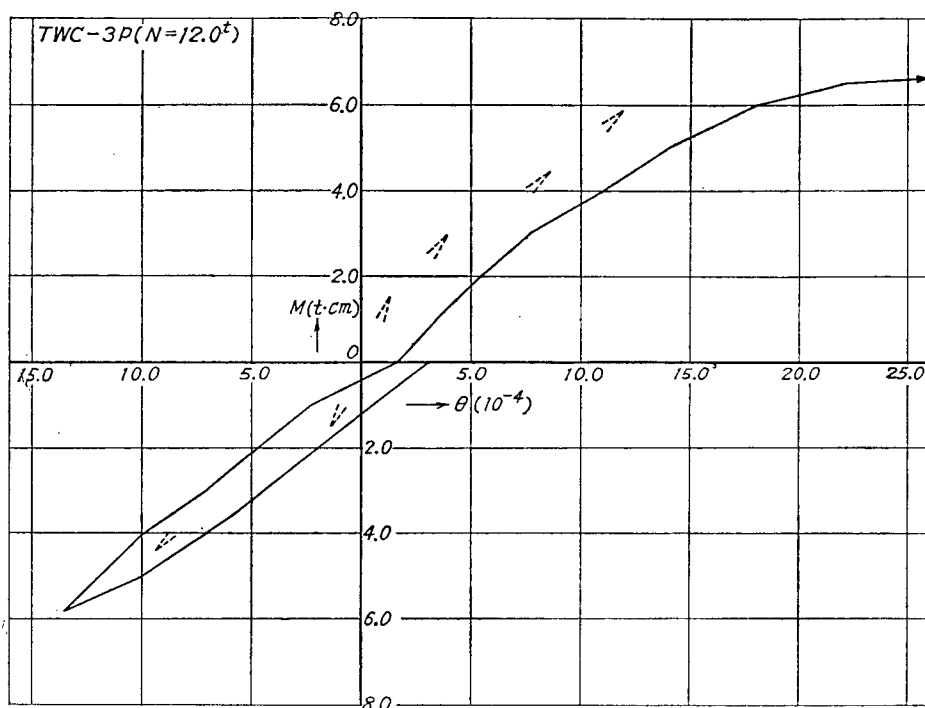


5 図(b) 軸力 $N=12.0\text{ t}$ の場合

6 図 壁脚部モーメント (M) と壁脚部回転角 (θ) の関係 (プレーンサーモコン)



6 図(a) 軸力 $N=0$ の場合



6 図(b) 軸力 $N=12.0\text{ t}$ の場合

4 図で壁脚部において壁の両辺にとりつけたダイヤルゲージのよみを D_1 , D_2 とすれば

$$\theta_{12} = \frac{D_1 + D_2}{l}$$

θ_{12} は脚部に曲げモーメントが加わる場合の壁脚部つけ根の回転変形によって生ずる回転角 θ_R と、0 - a 間のモーメントによる曲げ変形によって生ずる回転角 θ_M が含まれものと考えられる。

各試験体の脚部つけ根における曲げモーメントと測定回転角 θ との関係を示すと 5 図, 6 図となる。

4) 検 討

(i) 破壊荷重に対する壁脚部許容耐力 (短期) の安全率

各試験体はいずれも壁脚部の曲げによって引張側で、壁の縁筋の引張降伏あるいは定着破壊を起こした。

そこで、壁脚部の許容耐力を求め、破壊荷重に対してどの程度の安全率を示すものかを検討した。

許容耐力の算定にはつぎの仮定を行なった。

- ・耐力は縁筋の引張耐力によって決まる。
- ・脚部の補強筋としては縁筋およびアンカメッシュ (端より 5 列まで) を有効とする。
- ・鋼材引張許容応力度 $f_t = 2400\text{ kg/cm}^2$ (短期)
- ・サモコン圧縮許容応力度

$$f_c = 40\text{ kg/cm}^2 \quad (//)$$

ヤング係数比 $n = 55$

・計算式は鉄筋コンクリート柱の常用式を用いる。

以上の仮定事項に基づいて壁脚部の許容耐力を軸力と曲げモーメントとの相関曲線で示すと 7 図となる。7 図には実験結果をプロットしたが、これよりアンカメッシュのみで定着した TWC-2 試験体の破壊強度は軸力 = 0 の場合、許容耐力を下廻る結果となり、このことから TWC-2 試験体ではアンカメッシュの定着破壊したことがわかる。

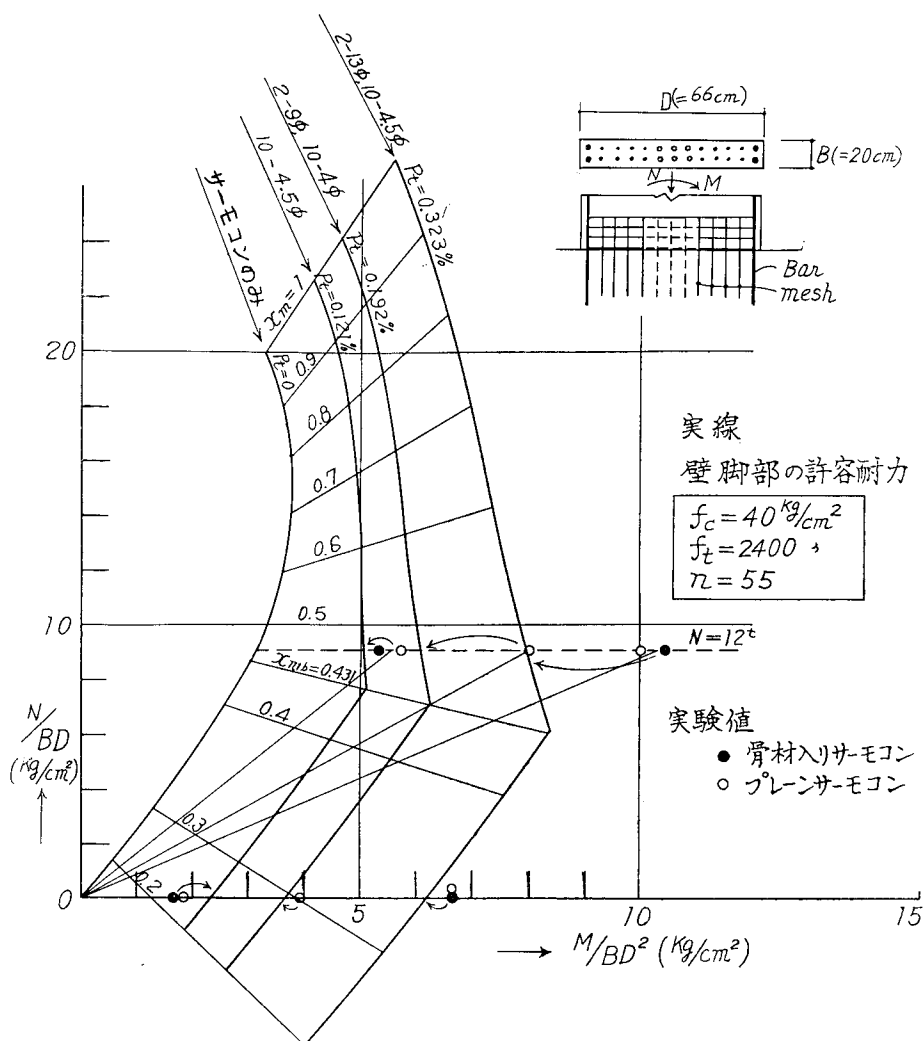
3 表に実験値と許容耐力の比較を示す。

3 表 M/BD^2 (kg/cm^2) の値

種 別	$N = 0$			$N = 12\text{ ton}$		
	実験値	許容値	(実/許)	実験値	許容値	(実/許)
TWC-2	1.75	2.3	0.76	5.5	5.1	1.08
TWC-3	3.9	3.65	1.07	7.95	6.25	1.27
TWC-1	6.65	6.15	1.08	10.4	8.2	1.27

3 表より TWC-2 試験体のほかは、いずれも実験値は許容耐力を上廻っているが、その程度は約 1.05 ~ 1.3 倍で、破壊強度に対する許容耐力の安全率は少ないようである。

(ii) 壁脚部終局耐力の解析



7図 壁脚部許容耐力図

壁脚部の終局強度時には補強筋としては縁筋およびアンカーメッシュすべてが有効に働くものと考えて終局耐力を求めた。

終局耐力の解析に当たって下記の仮定を設けた。

○鋼材の強度

縁筋 13φ $\sigma_y = 3000 \text{ kg/cm}^2$ ($\varepsilon_y = 0.143\%$)

9φ $\sigma_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$ ($\varepsilon_y = 0.19\%$)

メッシュ 4.0φ, 4.5φ

$\sigma_B = 6300 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma = 4000 \text{ kg/cm}^2$ までは
弾性とみなす ($E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$)

○サモコン強度

プレーン・骨材入りとも

$F_c = 70 \text{ kg/cm}^2$ ($c\varepsilon_m = 0.2\%$)

$\sigma - \varepsilon$ の関係は (1.2) 式とする。

○断面の性質歪度および応力度の関係は 8 図に示す。

○記号

$c\varepsilon_c$: サモコン圧縮縁歪

$s\varepsilon_c$: 圧縮鉄筋の歪

$m\varepsilon_c$: 圧縮部分メッシュの平均圧縮歪

$m\varepsilon_t$: 引張部分メッシュの平均引張歪

$s\varepsilon_t$: 引張鉄筋引張歪

C_0 : サモコン圧縮合力

sC_c : 圧縮鉄筋合力

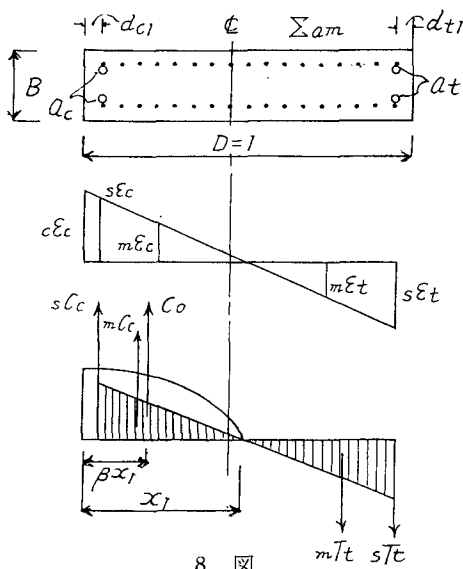
mC_c : 圧縮側メッシュ合力

mT_t : 引張側メッシュ合力

sT_t : 引張鉄筋合力

p_t : 引張鉄筋比

a_t : 引張鉄筋断面積



8 図

p_c : 圧縮鉄筋比

a_c : 圧縮鉄筋断面積

E : 鉄筋・メッシュのヤング係数

($2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$)

p_g : メッシュ比

Σa_m : 全メッシュ断面積

d_c : 圧縮縁より圧縮鉄筋中心までの距離

B : 壁の幅

D : 壁のせい(長さ)

x_1 : 圧縮サーモコン縁より中立軸までの距離

$$p_t = \frac{a_t}{BD}, \quad p_c = \frac{a_c}{BD}, \quad p_g = \frac{\Sigma a_m}{BD},$$

$$d_{c1} = \frac{d_c}{D} = d_{t1} = 0.06$$

$$x_1 = \frac{c\varepsilon_c}{c\varepsilon_c + s\varepsilon_t} \times 0.94$$

$$\frac{c\varepsilon_c}{x_1} = \frac{s\varepsilon_t}{x_1 - d_{c1}} = \frac{s\varepsilon_t}{0.94 - x_1} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

$$m\varepsilon_c = \frac{s\varepsilon_c}{2}, \quad m\varepsilon_s = \frac{s\varepsilon_t}{2} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

$$C_0 = \alpha \cdot F_c \cdot x_1 \cdot BD$$

$$sC_c = s\varepsilon_c \cdot E \cdot p_c \cdot BD$$

$$= \frac{x_1 - d_{c1}}{x_1} \cdot c\varepsilon_c \cdot E \cdot p_c \cdot BD$$

$$mC_c = p_g \cdot \frac{x_1 - d_{c1}}{1 - 2d_{c1}} \cdot m\varepsilon_c \cdot E \cdot BD$$

$$= p_g \cdot \frac{x_1 - d_{c1}}{1 - 2d_{c1}} \cdot \frac{s\varepsilon_c}{2} \cdot E \cdot B \cdot D$$

$$mT_t = p_g \cdot \left(1 - \frac{x_1 - d_{c1}}{1 - 2d_{c1}}\right) \cdot m\varepsilon_t \cdot E \cdot B \cdot D$$

$$= p_g \cdot \left(1 - \frac{x_1 - d_{c1}}{1 - 2d_{c1}}\right) \cdot \frac{s\varepsilon_t}{2} \cdot E \cdot B \cdot D$$

$$sT_t = p_t \cdot E \cdot s\varepsilon_t \cdot BD$$

.....(3.3)

ここで $p_t = p_c$ と おき、断面の応力平衡より

$\frac{N}{BD}$, 断面のモーメントのつり合より

$\frac{M}{BD^2}$ を求める。

$$\frac{N}{BD} = \alpha \cdot F_c \cdot x_1$$

$$+ \frac{E \cdot p_g}{2} \cdot \left\{ \frac{x_1 - d_{c1}}{1 - 2d_{c1}} \cdot s\varepsilon_c - \left(1 - \frac{x_1 - d_{c1}}{1 - 2d_{c1}}\right) \cdot s\varepsilon_t \right\} \\ + p_t \cdot E \cdot (s\varepsilon_c - s\varepsilon_t) \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

$$\frac{M}{BD^2} = \alpha \cdot F_c \cdot x_1 \cdot (0.5 - \beta x_1)$$

$$+ \frac{E \cdot p_g}{2} \cdot \left\{ \frac{x_1 - d_{c1}}{1 - 2d_{c1}} \cdot \left(0.5 - \frac{x_1 - d_{c1}}{3} - d_{c1}\right) \cdot s\varepsilon_c \right. \\ \left. + \left(1 - \frac{x_1 - d_{c1}}{1 - 2d_{c1}}\right) \cdot \left(0.5 - \frac{1 - x_1 - d_{c1}}{3} - d_{c1}\right) \cdot s\varepsilon_t \right\} \\ + p_t \cdot E \cdot (s\varepsilon_t + s\varepsilon_c) \cdot (0.5 - d_{c1}) \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

実験の場合の下記の数値を用いて (3.4) 式, (3.5) 式より N/BD , M/BD^2 を求めた結果を 9 図に示す。

TWC-1 $p_t = p_c = 0.201\%$, $p_g = 0.315\%$

TWC-2 $p_t = p_c = 0$, $p_g = 0.315\%$

TWC-3 $p_t = p_c = 0.097\%$, $p_g = 0.246\%$

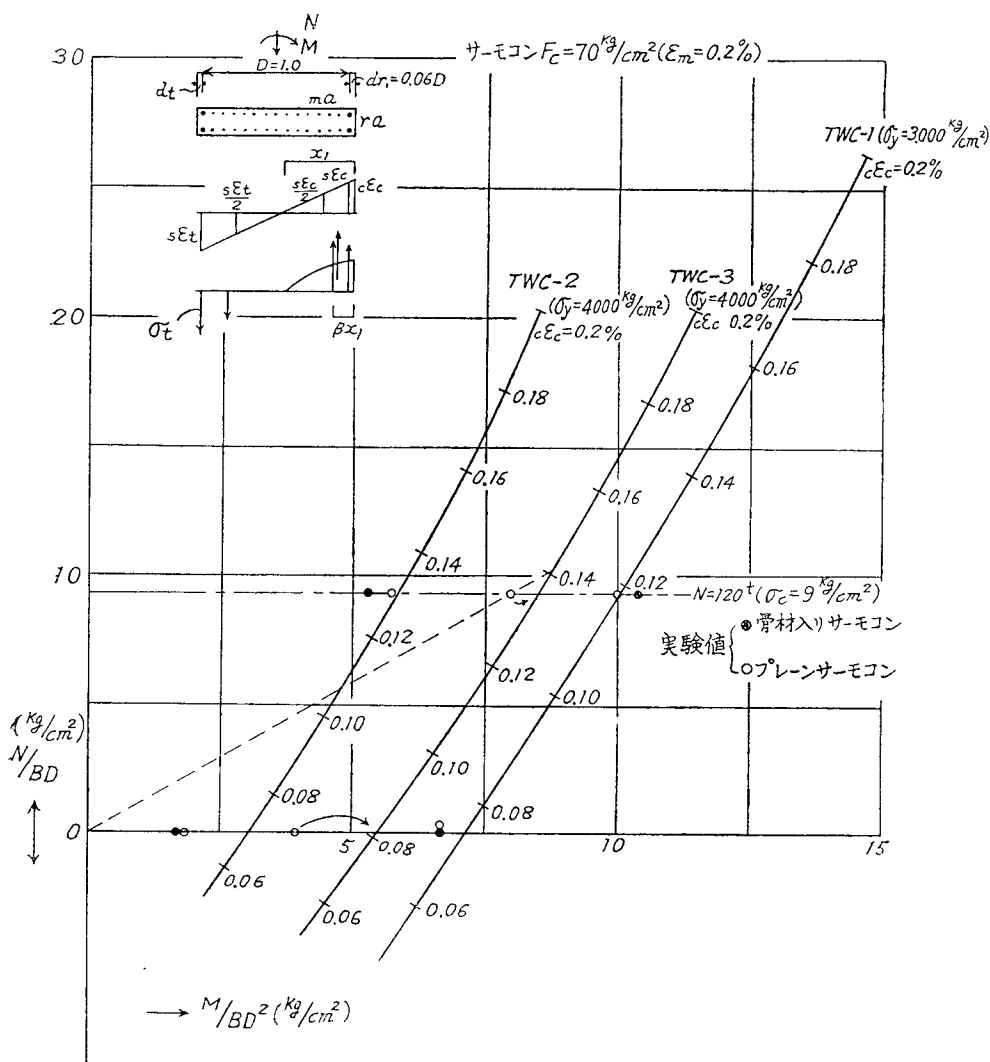
9 図は引張側の縁筋, または一番外側のメッシュが丁度降伏した時を終局強度として N/BD , M/BD^2 の関係を示したものである。同図には実験値をプロットしたが, これより実験値と計算値を比較すると 4 表となる。

4 表

	補 強 筋	実験値/計算値	
		$N = 0$	$N = 12 \text{ t 時}$
TWC-1	2-13 ϕ 4.5 ϕ メッシュ	0.92	1.06
TWC-2	4.5 ϕ メッシュ のみ	0.58	1.06
TWC-3	2-9 ϕ 4.0 ϕ メッシュ	0.71	0.91

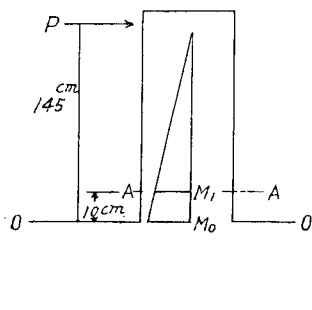
4 表より見ると, 軸力のある場合には実験値は計算値にほぼ一致するが, 定着部がサーモコンばりの場合 (TWC-3) では実験値は計算値より約10%程度低い。軸力がない場合には実験値はいずれも計算値より低く, サーモコンばりへ定着した場合約30%, 隅筋のない場合 (TWC-2) では約40%程度低下している。

このことからこの実験の範囲では脚部接合部の終局耐力については, 普通コンクリート部(基礎など)に定着された場合, 軸力 (N/BD) が約10kg/cm²程度で, 引張側で引張鉄筋応力が降伏 ($\sigma_y = 3000 \text{ kg/cm}^2$) に達するが, サーモコン部に定着される場合には約10%低下



9 図 各試験体の $N/BD-M/BD^2$ の関係

している。また、軸力=0の場合には接合部耐力は下部への定着不足により約10~40%の低下が見られる。いずれの場合にも上部壁体への定着はほぼ完全と思わ



10 図

れるので、下部への定着を完全にすることにより接合部耐力は増すものと思われる。

(iii) 壁脚部の剛性

10図に示すように実験では0-0断面に対するA-A断面の相対回転角を測定したが、この回転角 θ はアンカーメッシュおよび隅筋の定着ずれによって生ずる回転角 θ_R と壁体の曲げ変形による0-A間の回転角 θ_M の和である。従って θ_M を計算によって求めておけば $\theta_R=\theta-\theta_M$ より θ_R を求めることができる。

θ_M はつぎの関係より求める。

$$\theta_M = \left\{ \left[\frac{1}{\rho} \right]_0 + \left[\frac{1}{\rho} \right]_1 \right\} \times \frac{1}{2} \times 10$$

$$= M_0 \cdot \left(\frac{280}{145} \right) \times \frac{5}{EJ}$$

但し $M_0=145P$ ((t. cm)

$$M_1=M_0 \times \frac{135}{145}$$

$$\left[\frac{1}{\rho}\right]_0 = \frac{M_0}{EJ}, \quad \left[\frac{1}{\rho}\right]_1 = \frac{M_1}{EJ}$$

いま、許容耐力時(短期)における θ_R を求める。

[EJ]としては2.2壁のせん断試験で求めた値を用いる。

[EJ]=0.54×[EJ_0]より(メッシュ 4.5φ の場合)

[EJ]₀: 標準剛性

$$[EJ]_0=12.9 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2$$

$$E=3.85 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2, \quad J=\frac{bD^3}{12}$$

$$[EJ]=0.54 \times 12.9 \times 10^9 = 7.0 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \theta_M = 6.77 \cdot M_0 \times 10^{-7} \text{ ラジアン}$$

(M_0 は t・cm であらわす)

実験値 θ より θ_R を求め5表に示す。

5 表

	M_0 (t・cm)	実験値 θ 10^{-4} ラジアン	θ_M 10^{-4}	$\theta_R = \theta - \theta_M$ 10^{-4}
TWC-1	536 (714)	19~29 (13~18)	3.6 (4.8)	15.4~25.4 (8.2~13.2)
TWC-3	318 (544)	18 (15)	2.2 (3.7)	15.8 (11.3)

() の値は軸力のある場合

5表より得られた θ_R を用い、許容耐力時の脚部回転剛性 (M/θ_R) を求め、これを6表に示す。

6 表

	条 件	M/θ_R ($10^8 \text{ kg} \cdot \text{cm}$)
TWC-1	軸 力 な し	2.1~3.5
	軸 力 あ り	5.4~8.7
TWC-3	軸 力 な し	2.0
	軸 力 あ り	4.8

6表で検討した壁脚部とはほぼ同断面の2.1はりの曲げ試験の項でも、はり端の回転剛性を調べている。7表はそれぞれほぼ同断面のはりとは壁脚の回転剛性 M/θ_R (許容耐力時) を較べたもので壁脚部の剛性ははり端に較べて非常に低く壁脚固定度の不足を示している。

(iv) 壁脚部の弾性固定度の検討

壁脚部は、水平力を受けた場合には7表からも分かるように、かなりの回転を生ずる。従って壁脚は完全

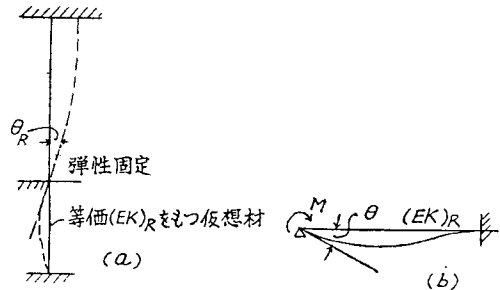
固定とはいえず、 M/θ_R の回転剛性をもつような半固定の状態とみるべきで、ここではその弾性固定度を検討する。

11図(a)に示すように弾性固定度を表わすのに柱脚より更に下方にのびる他端固定の材を仮想して、その等価剛度 (EK)_R で示すことにする。

この仮想材は M に対して θ すなわち θ_R だけ回転する。

7 表

試 験 体	壁 脚 部 M/θ_R ($10^8 \text{ kg} \cdot \text{cm}$)	はり端部 M/θ_R ($10^8 \text{ kg} \cdot \text{cm}$)
はり TWG1-P 壁脚TWC-1(軸力なし)	2.1~3.5	23.2
はり TWG3-P 壁脚TWC-3(軸力なし)	2.0	19.2



11 図

撓角法公式より11図(b)の場合の M と θ の関係は

$$M=4[EK]_R \cdot \theta \quad \therefore [EK]_R = \frac{M}{4\theta} \quad \dots\dots (3.6)$$

(3.6) 式に $M=M_0$, $\theta=\theta_R$ を代入すると等価剛度 [EK]_R が求まる。

いま、実験の TWC-3 (2階以上の壁) について求めると

$$[EK]_R = 0.5 \times 10^8 \text{ kg} \cdot \text{cm} \text{ (軸力なし)}$$

$$[EK]_{R'} = 1.2 \times 10^8 \text{ kg} \cdot \text{cm} \text{ (軸力あり)}$$

つぎに12図(a)に示すような壁の応力計算を例にとると

$$h=2.1 \text{ m}$$

として、壁柱の EK は

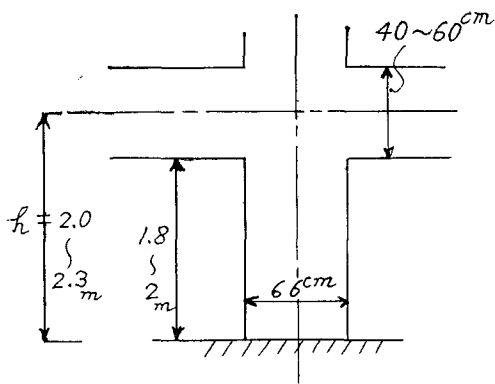
$$EJ=13 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$EK=EJ/l=0.62 \times 10^8$$

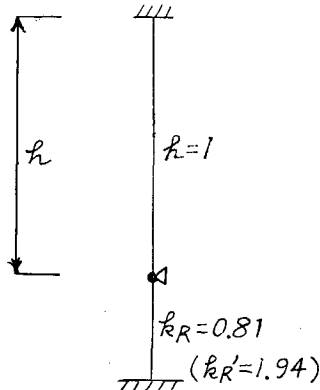
故に剛比は12図(b)となり、以下固定法によって Q と M を求めると12図(c)となり、反曲点は

$$y=0.38h \text{ (0.43h)} \text{ となり中央より下にさがる。}$$

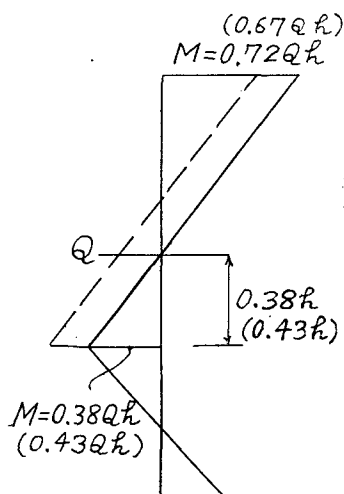
一般に12図(c)の場合の反曲点高さ y は次式で与えられる。



12図(a)



12図(b) ()値は軸力がある場合



12図(c) ()値は軸力がある場合

$$y = \frac{0.5k_R}{(k_R + 0.25k)} \times h \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

h : 階高

k : 柱剛比

k_R : 等価 EK 材の剛比

同様にして TWC-1 (1階壁と基礎に相当) について反曲点高さを求めると

$$[EK]_R \approx 0.7 \times 10^8 \text{ kg} \cdot \text{cm} \rightarrow k_R \approx 1.3$$

$$[EK]_R' \approx 1.7 \times 10^8 \text{ kg} \cdot \text{cm} \rightarrow k_R' \approx 2.75$$

$$[EK] \approx 0.62 \times 10^8 \text{ kg} \cdot \text{cm} \rightarrow k = 1.0$$

依って (3.7) 式より $y = 0.38h$ (0.46h)

以上の解析結果よりみて、水平力に対する壁の応力計算の場合は壁柱の反曲点高さは、この実験の範囲では $y = 0.4h$ 程度に見なす方がよいと思われる。

むすび

壁厚20cm、壁長66cmの壁体に水平力が加わった場合の壁脚部の強度試験を行なった結果、本実験の範囲で明らかとなった事項はつぎのとおりである。

(i) 壁脚部の破壊はいずれも引張側に生じた。アンカーメッシュの壁自体への定着はほぼ完全であったが、下方への定着 (はりまたは基礎への定着) は、軸力のある場合にはほぼ充分であるが、軸力がない場合にはやや不充分と思われる。

(ii) 壁脚部の補強筋として壁自体の縁筋を下方へ通し鉄筋とし、アンカーメッシュ (端より5列-10本) を有効とした許容耐力 (短期) に対する破壊強度は約1.0~1.3倍で、許容耐力としての安全率はやや不充分である。また縁筋を通し鉄筋としないアンカーメッシュだけの場合には破壊強度は許容耐力を下廻る結果となっている。このことから壁脚部に全許容力を期待する場合、定着には通し鉄筋を併用することが望ましい。

(iii) 壁脚部においては、はりまたは基礎へ定着した通し鉄筋あるいはアンカーメッシュのずれなどによって生ずる回転変形が大きく、壁脚固定とせず、半固定と見做す方が妥当である。実験結果より壁脚部の回転剛性を求め、更に解析により、水平荷重時応力計算の場合の有効反曲点高さを求めた。その結果、壁脚固定として $y = 0.5h$ とするよりは $y = 0.4h$ 程度にとる方が妥当であることが認められた。

結 論

この研究は圧縮強度が $70 \sim 90 \text{ kg/cm}^2$ 程度の現場打ち気泡コンクリートを構造材料として使用する場合の壁式構造設計資料の基礎データを得る目的で実験を計画したものである。

実験では現場打ち気泡コンクリートとして、品質向上したサーモコンを用い、実際建物部材に相当する断面・配筋とした各種の試験体について破壊試験を行なった。

実験結果の検討および解析の結果は各節のむすびで述べてきたが、各試験を総括すると、はりおよび壁部材の強度および剛性は気泡コンクリート品質の改善に

伴い、著しい上昇を示しており、その性状は定性的には普通コンクリートを用いた場合に近いものが得られ、設計規模の拡張に十分耐えられる性能をもつようになったと認められる。壁脚接合部については、下部構造物材への定着効果を改善する余地が残されているが、これを改良することにより更に気泡コンクリートの特性を発揮するものと思われる。

謝 辞

本実験は日本サーモコン株式会社より明治大学工業振興会へ研究を依頼された、その一部である。

本研究にあたり小倉弘一郎教授には終始御懇切なる御指導を賜った。また狩野芳一教授には研究上いろいろと御助言をいただいた。

ここに厚く御礼申上げると共に、実験では明大学生・安田俊之、渡辺哲郎、稲田修、石井宏幸君（昭和42年度卒業）をはじめ、日本サーモコン株式会社庄川選男氏ほか多数の方々の協力を得た。また数値解析では明治大学計算センター計算機 OKITAC-5090 を使用した。

重ねて関係各位の御協力に深く謝意を表します。